الفيزياء المسلية

الكتاب الأول



الكتاب الثاني

دار «مير» للطباعة والنشر

الفيزياء المسلية

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН • ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА 1

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“ МОСКВА

ياكوف بيريلمان

الفيزياء المسلية

الكتاب الاول

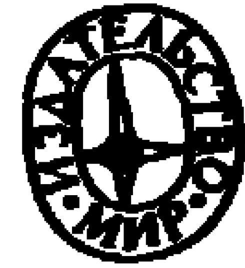
طبعة سادسة

ترجمة الدكتور داود سليمان المنير

منشورات دار علاء الدين

٥٠٠ نسخة

دمشق - ١٩٩٨



دار «مير» للطباعة والنشر موسكو

На арабском языке

طبعة اولى ١٩٧٠

طبعة ثانية ١٩٧٤

طبعة ثالثة ١٩٧٨

طبعة رابعة ١٩٨٢

طبعة خامسة ١٩٨٣

طبعة سادسة ١٩٨٧

من مقدمة المؤلف للطبعة الثالثة عشر

انني لا احاول فى هذا الكتاب تزويد القارئ بمعلومات جديدة، بقدر ما احاول ان اساعده على « ادراك ما يعرفه » ، اى تعميق واحياء ما لديه من المعلومات الاساسية فى الفيزياء ، وتعليمه كيف يتصرف بها عن وعى ، مع حثه على استخدامها فى مجالا ت مختلفة . ويتم ذلك ببحث عدد منوع من الالغاز والاسئلة المبتكرة والقصص المسلية والمسائل الممتعة والتناقضات الظاهرية والمقارنات غير المتوقعة فى علم الفيزياء ، المنسوبة الى مجموعة الظواهر اليومية او الروايات العلمية ــ الخيالية ، المستمدة من مؤلفات مشهورة . وقد استخدمت بصورة خاصة ، مادة الروايات العلمية ــ الخيالية على نطاق واسع ، باعتبارها اكثر ملاءمة لاهداف الكتاب : قدّمت مقتطفات من قصص وروايات جول فيرن وويلز ومارك توين وغيرهم . ان التجارب الخيالية الموصوفة فيها ، بالاضافة الى اغرائها ، يمكنها ان تلعب عند التعليم ايضا ، دورا لا يستهان به ، باعتبارها صورا حية .

وقد حاولت قدر استطاعتى ، ان اضفى على الحديث من الظاهر ، صيغة جذابة ، واجعل الموضوع مشوقا . كما استرشدت بتلك البديهية النفسانية ، التى تقضى بان الاهتمام بالموضوع يركزّ الانتباه ويسهل الفهم، وبالتالى يمهد السبيل لاستيعاب المادة ، بصورة اكثر ادراكا ووثوقا .

وخلافا للتقاليد المرعية عند وضع مثل هذه الكتب خصّصت فى كتاب « الفيزياء المسلية » صفحات قليلة جدا لوصف التجارب الفيزيائية الممتعة والفعالة . ان لهذا الكتاب مهمة اخرى ، تختلف عن مهمة الكتب التى تقدم مادة لاجراء التجارب .

•

والهدف الرئيسي لكتاب « الفيزياء المسلية » هو الحث على التفكير العلمي ، وتعويد القارئ على التفكير بطريقة تتلاءم مع علم الفيزياء ، وتزويده بمعلومات فيزيائية كثيرة ، عن مختلف ظواهر الحياة ، وعن كل ما يتصل بحياته اليومية . والهدف الذى حاولت ان اتمسك به عند تنقيح الكتاب ، حدده لينين فى العبارات التالية :

« ان الكاتب الذى يتمتع بشعبية واسعة ، يقود القارئ الى فكرة ودراسة عميقتين ، انطلاقا من ابسط المعلومات المعروفة لدى الجميع ، مبينا بالنقاشات البسيطة او الامثلة الموفقة الاختيار ، النتائج الرئيسية لتلك المعلومات ، مؤديا بالقارئ المفكر الى مسائل اخرى متواصلة . والكاتب الذى يتمتع بشعبية واسعة ، لا يتوقع وجود قارئ لا يفكر ، او قارئ لا يرغب او لا يستطيع التفكير بل على العكس ، يتوخى من القارئ غير المثقف ، عزيمة جادة على التفكير ، ويساعده على القيام بهذا العمل الجدى الصعب ، ويرشده ، معينا له فى خطواته الاولى ، ومعلما اياه السير ابعد من ذلك ، من تلقاء نفسه * » .

ونظرا لرغبة القراء فى الاطلاع على تاريخ هذا الكتاب ، اقدم فيما يلي بعض المعلومات عنه .

ظهر كتاب « الفيزياء المسلية » لاول مرة منذ ربع قرن ، وكان باكورة انتاجى من الكتب الكثيرة ، التى تعد الآن بالعشرات . وفى الوقت الحاضر ، يصل العدد الكلى للنسخ المطبوعة من كتاب « الفيزياء المسلية » بجزءيه ، الى مائتى الف نسخة . ولما كانت المكتبات تضم عددا كبيرا من تلك النسخ ، حيث يتداول كل نسخة عشرات القراء ، يمكننا اذن ان نعد قراء الكتاب بالملايين . وقد وصل الكتاب ، كما تشهد على ذلك رسائل القراء ، الى اقصى المناطق النائية فى الاتحاد السوفييتى .

هذا وقد صدرت من كتاب « الفيزياء المسلية » عام ١٩٢٥ ، طبعة مترجمة الى اللغة الاوكرانية ، وعام ١٩٣١ — طبعة مترجمة الى اللغة الالمانية ، كما ظهرت له فى المانيا ترجمة موجزة باللغة الالمانية ، وطبعت مقتطفات منه باللغة الفرنسية (فى سويسرا وبلجيكا) ، وبلغات اخرى .

---

* لينين . المؤلفات المختارة ، الطبعة الرابعة ، الجزء الخامس ، ص ٢٨٥ — ٢٨٦ .

ان الانتشار الواسع للكتاب ، الذى يدل على الاهتمام الخيوى للجماهير الغفيرة ، بالعلوم الفيزياثية ، يضع المؤلف امام مسؤولية خطيرة ، تتعلق بنوعية مادة الكتاب . ويتضح ادراك هذه المسؤولية ، بالتغييرات والاضافات الكثيرة ، التى طرأت على نصوص كتاب « الفيزياء المسلية » فى طبعاته المعادة . ويمكن القول بان الكتاب وضع خلال الخمسة والعشرين عاما ، التى مرت على وجوده . وفى الطبعة الاخيرة ، لم يبق من نّص الطبعة الاولى الا النصف تقريبا ، كما لم يبق من الصور اى شىء يذكر.

وكتب بعض القراء ، يطلبون منّى الكف عن تنقيح النص ، كيلا يضطرون من اجل عشر صفحات جديدة ، الى اقتناء كل طبعة معادة . ولا اظن ان مثل هذه الاعتبارات، تستطيع ان تجعلنى اتخلى عن مسؤوليتى فى تحسين انتاجى بكافة الوسائل . ان كتاب « الفيزياء المسلية » ليس مؤلفا فنيا ، انما هو كتاب علمى ، رغم رواجه بين القراء . كما ان مادته — الفيزياء — تغتنى مع مرور الزمن ، حتى فى قواعدها الاساسية ، بابحاث جديدة ، يجب ان تضاف الى نّص الكتاب دوريا .

ومن ناحية اخرى ، كثيرا ما اعاتب على عدم احتواء كتاب « الفيزياء المسلية » على مواضيع تبين مثلا ، احدث انجازات هندسة اللاسلكى والانشطار النووى والنظريات الفيزياثية الحديثة وغير ذلك . ان مثل هذا العتاب ، مبعثه سوء الفهم. اذ ان لكتاب « الفيزياء المسلية » هدفا معينا تماما ، اما بحث تلك المسائل ، فيدخل فى نطاق كتب اخرى .

ولكتاب « الفيزياء المسلية » الاول ، صلة ببعض الكتب الاخرى التى وضعتها ، الى جانب كتاب « الفيزياء المسلية » الثانى . واحد تلك الكتب وهو كتاب « الفيزياء فى كل مكان » مخصص للقارئ غير المستعد نوعا ما ، الذى لم يبدأ بعد بدراسة الفيزياء بصورة منتظمة . وعلى العكس من ذلك ، هناك كتابان آخران مخصصان للقارئ الذى انهى دراسة منهج الفيزياء فى المدارس المتوسطة ، وهما كتابا « الميكانيكا المسلية » و « هل تعرف علم الفيزياء ؟ » . والكتاب الاخير هو عبارة عن تتمة لكتاب « الفيزياء المسلية » .

ياكوف بيريلمان ١٩٣٦

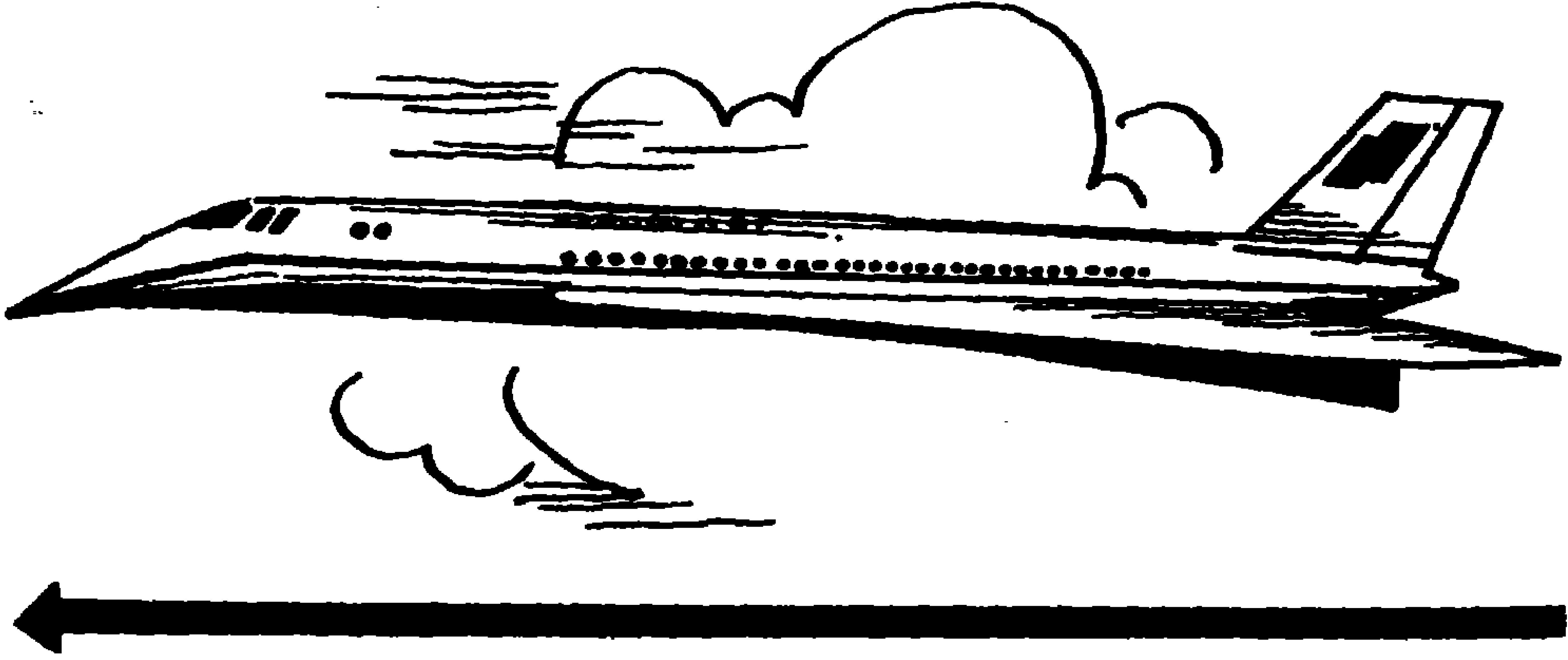
الفصل الاول | السرعة . جمع الحركات

بأية سرعة نتحرك ؟

ان العدّاء الجيّد يقطع مسافة قدرها ١٫٥ كم ، فى ٣ دقائق و ٥٠ ثانية (الرقم القياسى العالمى لعام ١٩٥٨ هو ٣ دقائق و ٣٦٫٨ ثانية) . وللمقارنة مع السرعة العادية للمشاة — ١٫٥ م فى الثانية — يجب القيام بعملية حسابية صغيرة . عندئذ يظهر ان العداء يقطع فى الثانية الواحدة ٧ امتار . وبالمناسبة ، فان هذه السرع غير ثابتة : اذ يستطيع الانسان ان يسير طويلا لعدة ساعات كاملة ، وان يقطع فى الساعة الواحدة ٥ كم . اما العداء ، فيستطيع المحافظة على سرعته الكبيرة لمدة قصيرة فقط . ان وحدة المشاة العسكرية ، تنتقل بخطوات سريعة ، ابطأ بثلاث مرات من سرعة العداء ، اذ تقطع فى الثانية الواحدة ٢ م ، او ما يزيد على ٧ كم فى الساعة الواحدة ، ولكنها تمتاز عن العداء ، بقابليتها لقطع مسافات اكبر كثيرا .

ومن الممتع ، مقارنة الخطوة العادية للانسان ، بسرعة بعض الحيوانات البطيئة — التى يضرب بها المثل — كالقوقعة والسلحفاة . وقد اكدّت القوقعة تماما ، صحة ما يقوله عنها المثل : فهى تقطع ١٫٥ مم فى الثانية ، او ٥٫٤ م فى الساعة — اقل من الانسان بألف مرة تماما . ولا يستطيع الحيوان الآخر ، النموذجى فى البطء ، وهو السلحفاة ، ان يجرى بسرعة تزيد عن ٧٠ م فى الساعة .

والانسان الحثيث الخطى ، بالنسبة للقوقعة والسلحفاة ، يبدو فى عالم آخر ، اذا قارنّا حركته ، حتى ببعض الحركات غير السريعة جدا ، الموجودة فى الطبيعة المحيطة بنا . وهو ، والحق يقال ، يسبق مجرى الماء فى اكثر الانهار الجارية فى السهول



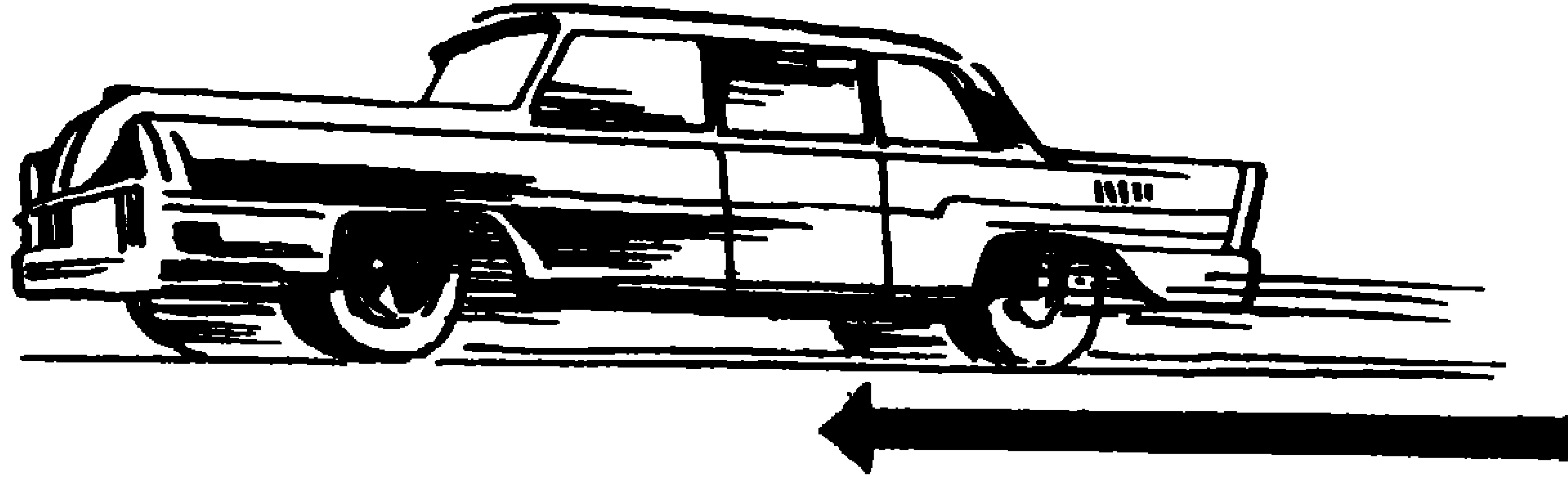
شكل ١ : طائرة ركاب سوفييتية نفاثة ماركة تو – ١٤٤ .

بسهولة ، ولا يتأخر كثيرا عن الرياح المعتدلة . ولكن الانسان يستطيع بنجاح مسابقة الذبابة ، التى تطير بسرعة ٥ م فى الثانية ، ما لم يكن يتزلّج على الثلج . وليس فى استطاعة الانسان ان يسبق الارنب او كلب الصيد ، حتى لوكان على ظهر حصان سريع . ويستطيع مسابقة النسر ، بركوبه طائرة فقط .

ان المكنات التى اخترعها الانسان ، جعلت منه اسرع مخلوق على وجه الارض .

وقد تم فى الاتحاد السوفييتى ، صنع سفن ركاب ذات اجنحة تحت سطح الماء (شكل ٣) ، تتراوح سرعتها بين ٦٠ و ٧٠ كم/ ساعة . ويستطيع الانسان ان يتحرك على الارض ، اسرع مما يتحرك على الماء . وفى الاتحاد السوفييتى ، تبلغ سرعة قطارات الركاب ، على كثير من خطوط السكك الحديدية ١٤٠ كم/ ساعة . وتصل سرعة سيارة الركاب « تشايكا » ، التى تحتوى على سبعة مقاعد ، الى ١٦٠ كم/ ساعة (شكل ٢) . اما سرعة الطيران الحديث ، فقد فاقت كافة السرع المذكورة كثيرا .

وفى الاتحاد السوفييتى ، وكذلك فى عدد من الدول الاخرى ، تعمل على الخطوط الجوية المدنية ، طائرات ركاب سوفييتية نفاثة كثيرة المقاعد ، من طراز تو – ١٠٤ وتو – ١١٤ وال – ١٨ وال – ٦٢ وغيرها . ويتراوح معدل سرعة طيرانها بين ٨٠٠ –



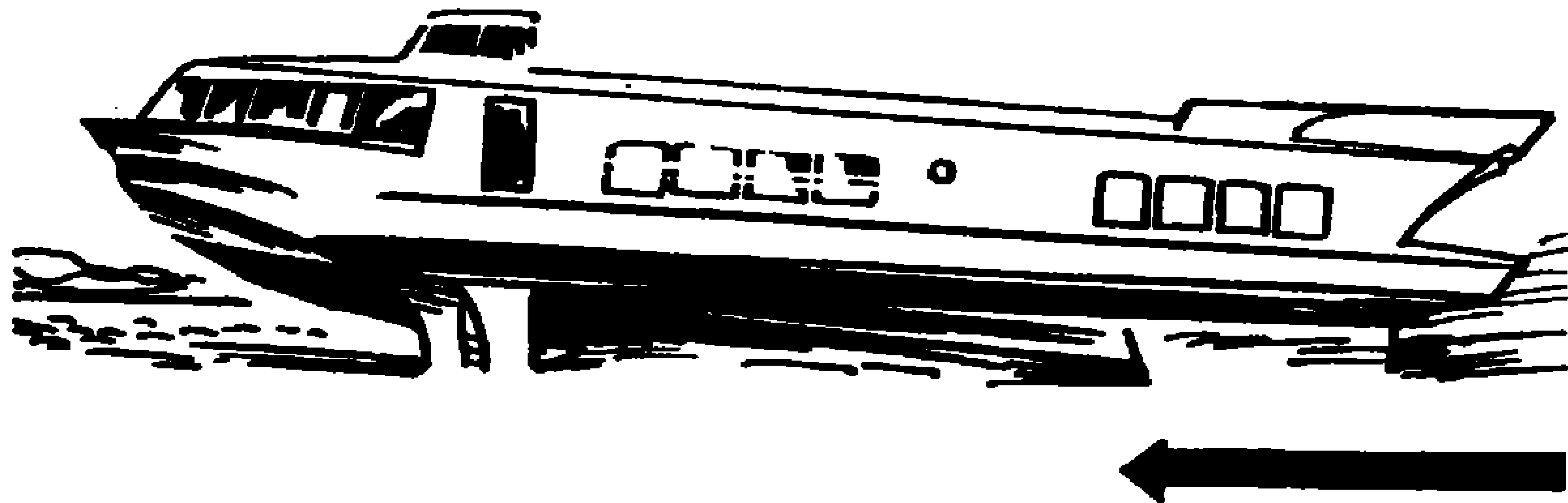
شكل ٢ : سيارة ركاب سوفييتية « تشايكا »

١٠٠٠ كم / ساعة . ومنذ وقت غير بعيد ، وضع المصممون امامهم ، مسألة اختراق « الحاجز الصوتي » والانطلاق بسرعة تزيد على سرعة الصوت (٣٣٠ م/ثانية ، اى ١٢٠٠ كم/ ساعة) . وقد تمّ في الوقت الحاضر حل هذه المسألة . ان سرعة الطائرات الحربية — لا المقاتلة فحسب ، بل وقاذفات القنابل ايضا — تفوق سرعة الصوت بثلاث او اربع مرات .

وقد تم في الاتحاد السوفييتي صنع طائرات ركاب ، تفوق سرعتها سرعة الصوت .

ويمكن ان تصل سرعة الاجهزة التي اخترعها الانسان ، الى اكثر مما ذكرناه .

لقد اطلق القمر الصناعي السوفييتي الاول ، بسرعة ابتدائية بلغت حوالى ٨ كم / ثانية . وسرعان ما زيدت سرعة الصواريخ الفضائية السوفييتية ، المنسماة بالسرعة الكونية الثانية ، فبلغت فوق سطح الارض ٢ر١١ كم / ثانية ، الامر الذى مكنّها من الوصول الى القمر ، ومن ثم الى الزهرة والمرّيخ .



شكل ٣ : سفينة ركاب سريعة ذات اجنحة تحت سطح الماء .

ونقدم فيما يلى ، جدولا للسرع المختلفة ، لكى يطلع عليه القارئ :

القوقعة	١,٥ مم/ثانية	٥,٤ م/ساعة
السلحفاة	٢٠ مم/ثانية	٧٠ م/ساعة
السمكة	١ م/ثانية	٣,٦ كم/ساعة
الانسان السائر على قدميه	١,٤ م/ثانية	٥ كم/ساعة
الفرس بخطوات عادية	١,٧ م/ثانية	٦ كم/ساعة
الفرس ، بخطوات سريعة	٣,٥ م/ثانية	١٢,٦ كم/ساعة
الذبابة	٥ م/ثانية	١٨ كم/ساعة
الانسان المتزلج على الثلج	٥ م/ثانية	١٨ كم/ساعة
الفرس السريع	٨,٥ م/ثانية	٣٠ كم/ساعة
سفينة ذات اجنحة تحت سطح الماء	١٦ م/ثانية	٥٨ كم/ساعة
الارنب	١٨ م/ثانية	٦٥ كم/ساعة
النسر	٢٤ م/ثانية	٨٦ كم/ساعة
كلب الصيد	٢٥ م/ثانية	٩٠ كم/ساعة
القطار	٢٨ م/ثانية	١٠٠ كم/ساعة
سيارة سباق (الرقم القياسى)	١٧٤ م/ثانية	٦٣٣ كم/ساعة
طائرة من طراز تو-١٠٤	٢٢٠ م/ثانية	٨٠٠ كم/ساعة
الصوت فى الهواء	٣٣٠ م/ثانية	١٢٠٠ كم/ساعة
طائرة نفاثة اسرع من الصوت	٥٥٠ م/ثانية	٢٠٠٠ كم/ساعة
السرعة المدارية للارض	٣٠٠٠٠ م/ثانية	١٠٨٠٠٠ كم/ساعة

سباق مع الزمن

هل يمكننا الطيران من مدينة فلاديفستوك فى الساعة الثامنة صباحا ، والوصول الى مدينة موسكو فى الساعة الثامنة من صباح نفس اليوم ؟ ليس هذا السؤال عديم المعنى بتاتا . نعم ، يمكننا ذلك . ولكى نفهم هذا الجواب ، يجب فقط ان نتذكر ان الفرق بين توقيت مدينتى فلاديفستوك وموسكو ، يبلغ تسع ساعات . فاذا استطاعت الطائرة

قطع المسافة بين فلاديفستوك وموسكو فى ذلك الزمن ، لوصلت موسكو فى نفس الساعة التى اقلعت فيها من فلاديفستوك .

وتبلغ المسافة بين فلاديفستوك وموسكو ، حوالى ٩٠٠٠ كم . وهذا يعنى ان سرعة الطائرة يجب ان تساوى $\frac{٩٠٠٠}{٩}$ = ١٠٠٠ كم/ساعة . وفى الظروف الراهنة ، يمكننا بسهولة الوصول الى مثل هذه السرعة .

ولكى « نسبق الشمس » (او الارض بالاحرى) ، عند خطوط العرض القطبية ، نحتاج الى سرعة قليلة جدا . فعند خط العرض ٧٧ (فوق المنطقة المسماة نوفايا زيمليا) ، تقطع الطائرة التى تبلغ سرعتها حوالى ٤٥٠ كم / ساعة ، نفس المسافة التى تقطعها نقطة معينة فوق سطح الارض ، اثناء دوران الارض حول محورها ، فى نفس الفترة من الزمن . وبالنسبة لراكب مثل هذه الطائرة ، تكون الشمس واقفة ، وتبقى معلقة فى السماء بلا حراك ، دون ان تميل الى المغيب (وعند ذلك ، بالطبع ، يجب ان تتحرك الطائرة فى الاتجاه الملائم) . والاسهل من ذلك ، ان « نسبق القمر » فى دورانه الذاتى حول الارض . ان سرعة دوران القمر حول الارض ، ابطأ بتسع وعشرين مرة من سرعة دوران الارض حول محورها (تتم المقارنة ، بالطبع ، بتلك السرع التى تسمى بالسرع « الزاويّة » وليس بالسرع الخطيّة) . ولهذا السبب ، تستطيع الباخرة التى تتراوح سرعتها بين ٢٥ و ٣٠ كم / ساعة ، ان « تسبق القمر » عند خطوط العرض المتوسطة .

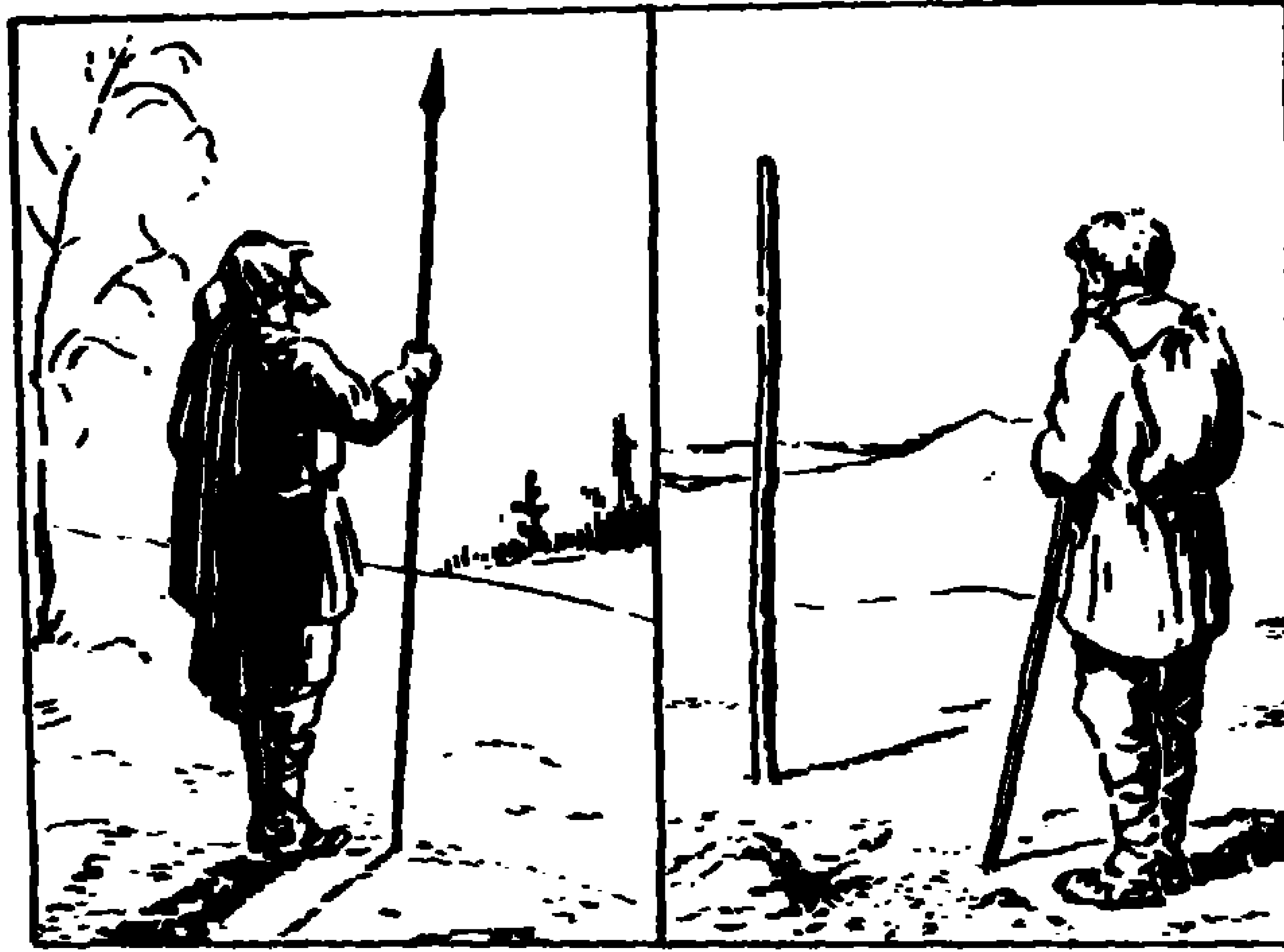
وقد ذكر مارك توين هذه الظاهرة ، فى مقالاته المعنونة « بلهاء فى الخارج » . اثناء رحلة عبر المحيط الاطلسى ، من مدينة نيويورك الى الجزر الخالدة « كان الجو صيفيا رائعا ، وكان الليل اجمل من النهار . لاحظنا ظاهرة غريبة ، هى ظهور القمر فى نفس النقطة من السماء ، وفى نفس الوقت من كل مساء . وفى بداية الامر ، بقى تصرف القمر بهذا الشكل الغريب ، لغزا محيرا بالنسبة لنا ، ولكننا ادركنا السبب فيما بعد : لقد كنا نوفر كل يوم عشرين دقيقة من الوقت ، لاننا كنا نسير بسرعة نحو الشرق ، اى ربحنا من الوقت فى كل يوم ، ما يكفينا للحاق بالقمر » .

جزء من الف من الثانية

ان جزءا من الف من الثانية ، لا يعني ايّ شيء ، بالنسبة للانسان الذى اعتاد على قياس الزمن بمقاييسه المألوفة . ان مثل هذه الفترات الزمنية ، اخذت تصادفنا فى حياتنا العملية ، منذ وقت قريب فقط . وعندما عين الاقدمون الوقت ، تبعا لارتفاع الشمس او لطول الظل ، لم يكن هناك مجال للحديث عن الدقة ، حتى لحد الدقيقة (شكل ٤) . فقد اعتبر الناس الدقيقة ، زمنا من الضآلة بمكان ، بحيث تنتفى الحاجة الى قياسه . لقد عاش الاقدمون حياة متوانية ، بحيث لم تحتو ساعاتهم — الشمسية والمائية والرملية — على تقاسيم خاصة بالدقائق (شكل ٥) . اما عقرب الدقائق ، فقد ظهر على الساعة لاول مرة ، فى مطلع القرن الثامن عشر . كما ظهر عقرب الثوانى فى مطلع القرن التاسع عشر .

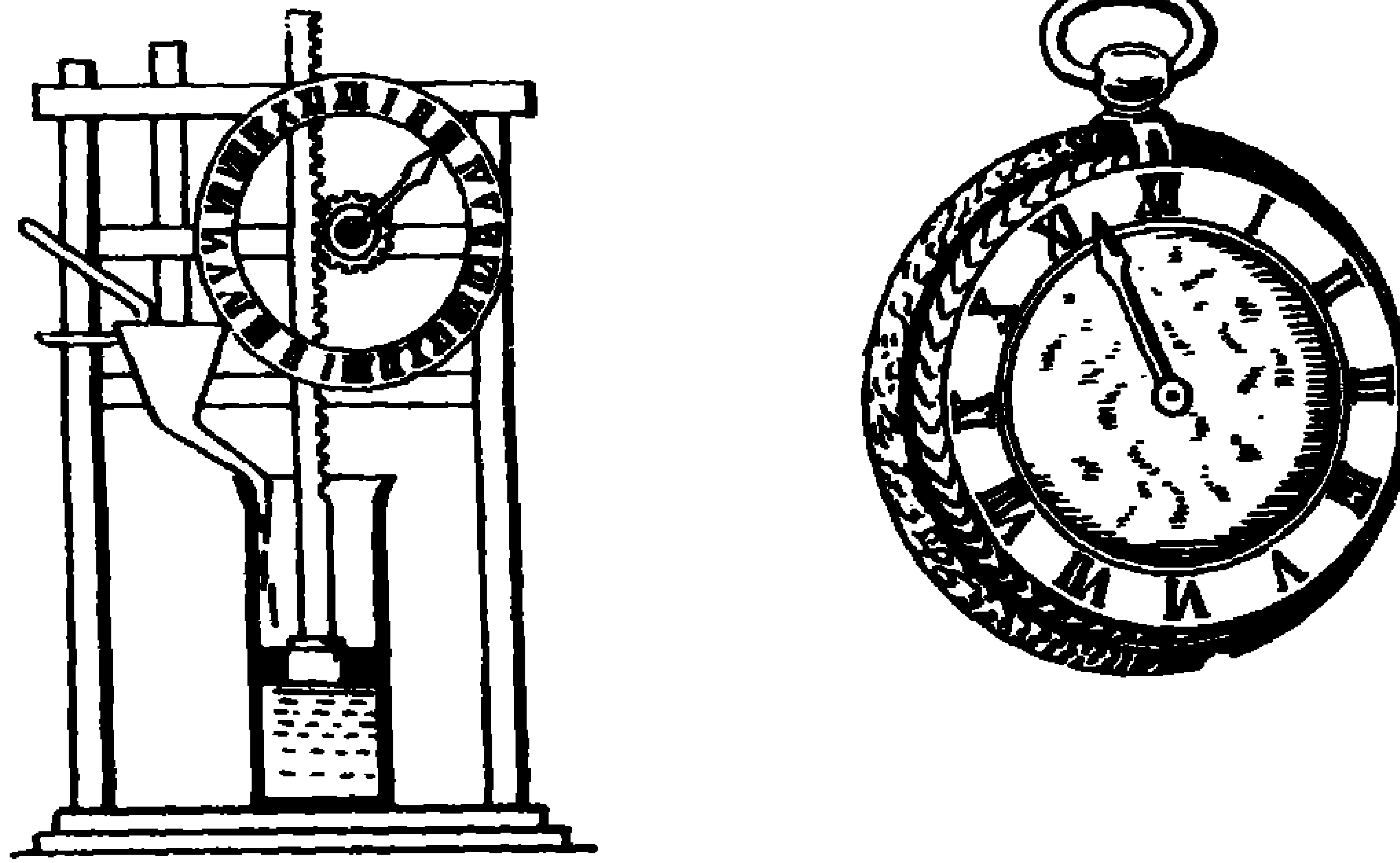
ما الذى يمكننا ان نفعله فى جزء من الف من الثانية ؟ اشياء كثيرة ! فالقطار ، يستطيع خلال هذه الفترة الزمنية ، ان يقطع مسافة لا تزيد فى الحقيقة على ثلاثة سنتمترات فقط ، ويقطع الصوت مسافة قدرها ٣٣ سم ؛ وتقطع الطائرة مسافة تقدر بنصف متر تقريبا ؛ وتقطع الارض اثناء دورانها حول الشمس ، مسافة قدرها ٣٠ م ؛ اما الضوء فيقطع مسافة تبلغ ٣٠٠ كم .

ولو كان باستطاعة الحشرات المحيطة بنا ، ان تناقش الامور ، لكان من المحتمل الا تعتبر هذا الجزء من الالف من الثانية ، زمنا لا قيمة له . اذ ان قيمته ملموسة تماما لدى الحشرات . ان البعوضة تخفق بجناحيها ، ما يتراوح بين ٥٠٠ و٦٠٠ مرة فى الثانية ؛ و هذا يعنى ان البعوضة تستطيع فى فترة جزء من الف من الثانية ، ان ترفع جناحيها او تخفضهما . اما الانسان ، فلا يستطيع تحريك اعضائه ، بمثل هذه السرعة ، كما تفعل البعوضة . ان اسرع حركة لدينا ، هى طرفة العين « غمزة العين » او « اللحظة » ، فى مفهومها الاساسى . وهى تتم بسرعة كبيرة ، بحيث لا نشعر معها ، حتى بانقطاع الرؤيا ، الوقتى . ولكن البعض يعرف ان هذه الحركة — التى تعنى سرعة لا يمكن



شكل ٤ : تعيين الوقت تبعا لموقع الشمس فى السماء (الرسم الايسر) ، وتبعا لطول الظل (الرسم الايمن) .

التعبير عنها — تحدث بصورة بطيئة نوعا ما ، اذا ما قيست باجزاء من الف من الثانية . فقد سجلت المقاييس الحساسة ، ان « طرفة العين » باكملها ، تستغرق فى المعدل $\frac{2}{5}$ ثانية ، اى ٤٠٠ جزء من الف من الثانية . وتتم هذه العملية ، على عدة مراحل ،



شكل ٥ : ساعة مائية كانت تستخدم فى العصور القديمة (الرسم الايسر) . ساعة جيب قديمة (الرسم الايمن) . ونلاحظ عدم وجود عقرب الدقائق فى كلتا الساعتين المذكورتين .

كما يلي : اولا ، اطباق الجفنين ، ويأخذ من الوقت ما يتراوح بين ٧٥ و ٩٠ جزءا من الف من الثانية ؛ ثانيا ، سكون الجفن المطبق وعدم تحركه ، ويستغرق ما يتراوح بين ١٣٠ و ١٧٠ جزءا من الف من الثانية ؛ ثالثا ، فتح الجفنين ، ويستغرق حوالى ١٧٠ جزءا من الف من الثانية . وكما نرى ، فان « طرفة العين » الواحدة ، بالمعنى الحرفى لهذه الكلمة ، هى فترة زمنية كبيرة نوعا ما ، حتى ان جفن العين يستطيع خلالها الراحة قليلا .

ولو استطعنا ان نتخيل الصور المستقلة لما يحدث خلال جزء من الف من الثانية ، لرأينا « فى طرفة العين الواحدة » حركتين سلستين لجفن العين ، تفصلهما فترة استراحة .

ولو كان جهازنا العصبى مركبا بهذا الشكل ، لرأينا العالم المحيط بنا متغيراً كلّ التغيّر . وقد قام الكاتب الانكليزى ويلز بوصف تلك الصور الغريبة ، التى كنا سنراها عندئذ بأعيننا ، وذلك فى قصته « احدث معجّل » . لقد تناول ابطال القصة دواء وهميا ، يؤثر على الجهاز العصبى ، بحيث يجعل اعضاء الحسّ سريعة التأثر بسلسلة الظواهر السريعة الحدوث . وهذه عدة امثلة من القصة :

« ــ هل رأيت حتى الآن ، ستارة معلقة على النافذة بهذا الشكل ؟

نظرت الى الستارة ، فوجدت انها جامدة ، وكانت زاويتها التى انثنت بتأثير الريح، ثابتة فى وضعها الاخير . فقلت له

ــ لم ار مثل ذلك ابدا ؛ يا للغرابة ؟ !

ــ وهل رأيت مثل هذا ؟

قال ذلك وبسط راحة يده التى تحمل القدح .

وتوقعت ان يتحطم القدح ، ولكنه حتى لم يتزحزح ، اذ تعلق فى الهواء بلا حراك .

وقال جيبيرن مواصلا الحديث :

ــ انك تعلم بالطبع ان الجسم الساقط ، يقطع فى الثانية الاولى مسافة ٥ م. والآن

يقطع القدح الامتار الخمسة هذه فى حين لم يمض حتى الآن جزء من مائة من الثانية * . وبامكانك الآن تقدير قوة « معجلى » .

ثم هبط القدح ببطء ، وتلمسه جيبيرن ، من كافة جوانبه .

ونظرت من النافذة ، فرأيت راكب دراجة عادية ، جامدا فى محله ، وخلفه غبار كثيف جامد ، وهو يحاول اللحاق بعربة خيول صغيرة ، جامدة فى محلها ايضا .

ولفتت انتباهنا حافلة لنقل الركاب ، وهى جامدة تماما كالصخرة . وكانت اطارات العجلات وقوائم الخيول ، وطرف السوط ، والفكّ السفلى للحوذى (الذى بدأ توّا بالتثاؤب) ــ كلها تتحرك ، ولو بصورة بطيئة . اما بقية محتويات تلك الحافلة ، فقد جمدت تماما . وكان الركاب الجالسون بداخلها ، اشبه بالتماثيل .

وقد جمد احد الاشخاص ، بالضبط فى تلك اللحظة ، التى بذل فيها قوة خارقة للعادة ، لكى يطوى جريدته بوجه الريح . ولكن لم يكن للريح وجود بالنسبة لنا . ان كل ما قلته وفكرت فيه وفعلته ، منذ اللحظة التى تغلغل فيها « المعجل » فى جسمى ، لم يكن الا طرفة عين بالنسبة لبقية البشر كافة ، وللكون باجمعه » .

وربما سيكون من الممتع بالنسبة للقراء ، ان يطلعوا على اقل فترة زمنية يمكن قياسها باحدث الاجهزة العلمية ! لقد بلغت هذه الفترة الزمنية ، فى مطلع القرن العشرين ، جزءا من عشرة الاف من الثانية ؛ اما الآن فيستطيع الفيزيائى فى مختبره ، ان يقيس زمنا يساوى جزءا من مائة مليار ($\frac{١}{١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠}$) من الثانية . ان هذه الفترة الزمنية تقل عن الثانية الواحدة ، بنفس المقدار الذى تقل فيه الثانية الواحدة عن ٣٠٠٠ سنة .

---

* فيما يتعلق بذلك ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، ان الجسم الساقط لا يقطع فى اول جزء من مائة من الثانية الاولى ، مسافة تساوى جزءا من مائة من الخمسة امتار ، انما يقطع جزءا من عشرة آلاف جزء منها (بموجب الصيغة م = $\frac{١}{٢}$ ك ن٢) ، اى نصف مليمتر ، ويقطع فى اول جزء من الف من الثانية ، مسافة $\frac{١}{٢٠٠}$ مم فقط .

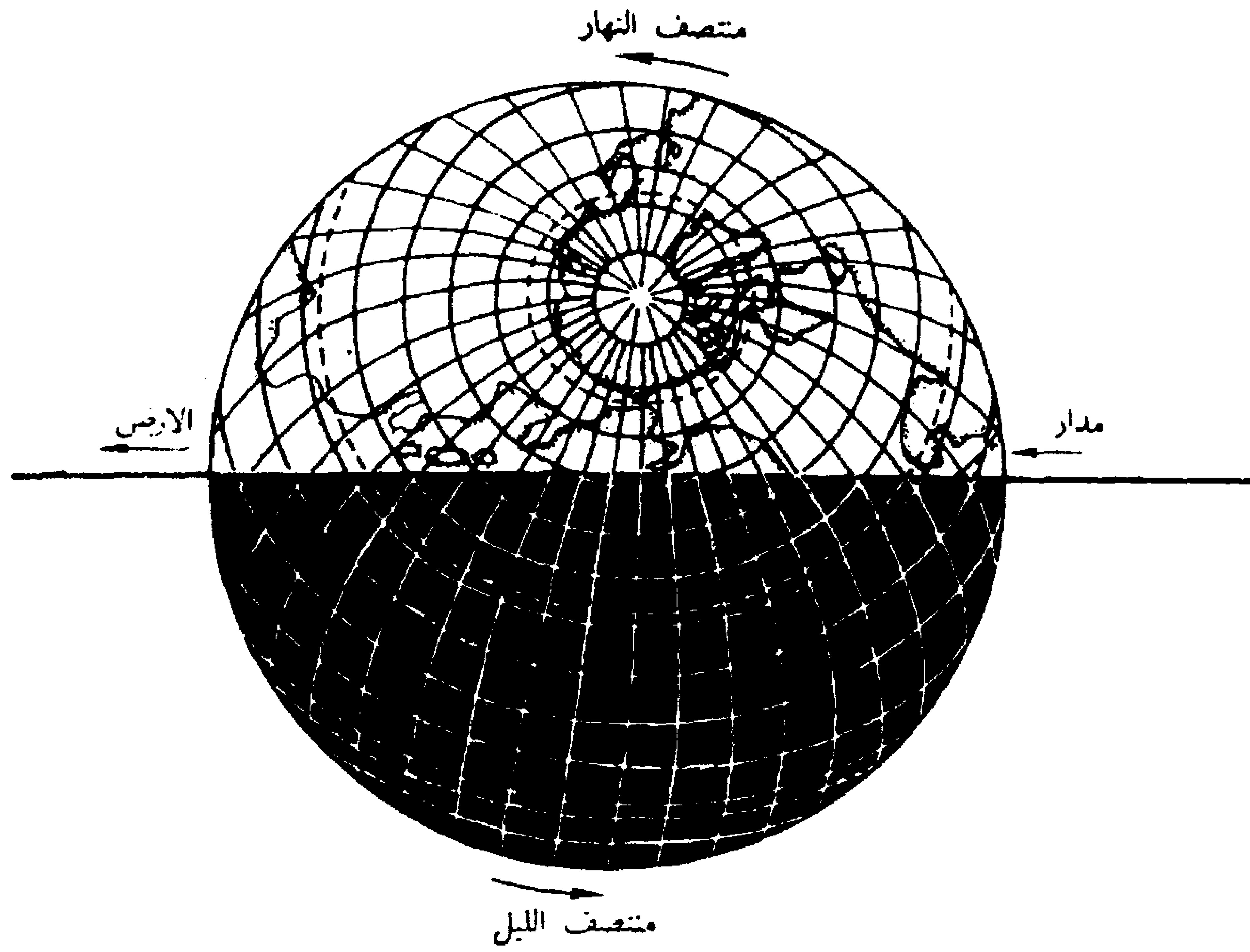
آلة تصوير الحركة البطيئة

حينما كتب ويلز قصته « احدث معجل » ، لم يكن يفكر على الاغلب ، فى ان شيئا من هذا القبيل سيتحقق يوما ما بالفعل . ولكنه على كل حال ، عاش الى ان استطاع ان يرى بأم عينيه – على الشاشة البيضاء فقط – تلك الصور التى ابتكرتها مخيلته فى وقت ما . ان ما يسمى « آلة تصوير الحركة البطيئة » ترينا على الشاشة البيضاء ، بحركة بطيئة ، ظواهر عديدة ، تحدث عادة بسرعة كبيرة .

ان « آلة تصوير الحركة البطيئة » هى عبارة عن آلة تصوير سينمائية ، تلتقط فى الثانية الواحدة ، عددا من الصور ، يزيد كثيرا عن عدد ما تلتقطه آلات التصوير السينمائية العادية ، البالغ ٢٤ صورة . وعندما نصور احدى الظواهر بهذه الطريقة ، ونعرض الفيلم على الشاشة البيضاء بسرعة عادية (٢٤ صورة فى الثانية) ، نرى ان الظاهرة تستغرق وقتا اكبر من وقتها الطبيعى بكثير . وربما يكون القارئ قد شاهد على الشاشة البيضاء ، بعض القفزات التى تحدث بسلاسة غير طبيعية ، وغير ذلك من الظواهر البطيئة . ويمكن بمساعدة آلات تصوير اكثر تعقيدا ، الحصول على حركات ابطأ بكثير ، تذكرنا تقريبا ، بما جاء فى قصة ويلز .

متى ندور حول الشمس اسرع – نهارا ام ليلا ؟

ظهر على صفحات الجرائد الباريسية ، فى يوم ما ، اعلان يعرض على كل قارئ طريقة للقيام برحلة رخيصة ومريحة ، لا تكلفه اكثر من ٢٥ سنتيما (أى ربع فرنك) . وقد صدّق بعض المغفلين ، ذلك الاعلان ، وحوّلوا المبلغ المطلوب . وبعد ذلك استلم كل منهم رسالة جوابية جاء فيها : « سيدى ، يرجى ان تبقى هادئا فى سريرك ، وتذكر ان الارض تدور ، فعند خط العرض ٤٩ – الذى تقع عليه باريس – تقطع سيادتك فى اليوم الواحد ، اكثر من ٢٥٠٠٠ كم . واذا كنت من عشاق المناظر الجميلة ، ازح ستائر النافذة ، وافتتن بالسماء المرصعة بالنجوم » .



شكل ٦ : عند وجودنا على النصف المعتم من الكرة الارضية ، تكون حركتنا حول الشمس ، اسرع مما هى عليه عند وجودنا على النصف المضاء .

وعندما قدّم المتهم بتدبير هذه الحيلة الى المحكمة ، وسمع الحكم الصادر بحقه ، ودفع الغرامة المستحقة عليه ؛ وقف وقفة مسرحية وراح يردد كالمنتصر ، الجملة الشهيرة التى هتف بها غاليليو :

– ومع ذلك ، فان الارض تدور !

لقد كان المتهم محقا ، كما هو معروف ، لان كل من يقطن الكرة الارضية ، لا « يتجول » بالدوران حول محور الارض فحسب ، بل تنقله الارض بسرعة اكبر عند دورانها حول الشمس .

ان الارض مع كافة قاطنيها ، تقطع فى كل ثانية مسافة ٣٠ كم فى الفراغ ، وهى فى نفس الوقت تدور حول محورها .

ويمكن بهذا الصدد ، طرح السؤال الطريف التالى : متى ندور حول الشمس اسرع ــ نهارا ام ليلا ؟

انه سؤال محيّر : فدائما يكون فى احد نصفى الكرة الارضية ، نهار ، وفى النصف الآخر ، ليل ؛ فاى معنى لهذا السؤال ؟ لا معنى له فى الظاهر .

ولكن الامر ليس كذلك . فنحن لا نسأل متى تتحرك الارض برمتها حركة اسرع ؛ ولكن السؤال هو متى نتحرك نحن الذين نعيش على سطحها ، حركة اسرع وسط الكواكب . وهذا السؤال ليس بدون معنى بتاتا . اننا فى المنظومة الشمسية ، نقوم بحركتين : ندور حول الشمس ، وفى نفس الوقت ندور حول محور الارض . وكلتا الحركتان تجمعان ، الا ان النتيجة تختلف ، تبعا لنصف الكرة الإرضية ، الذى نقع عليه ، هل هو النصف المظلم ام هو النصف المضاء بنور الشمس .

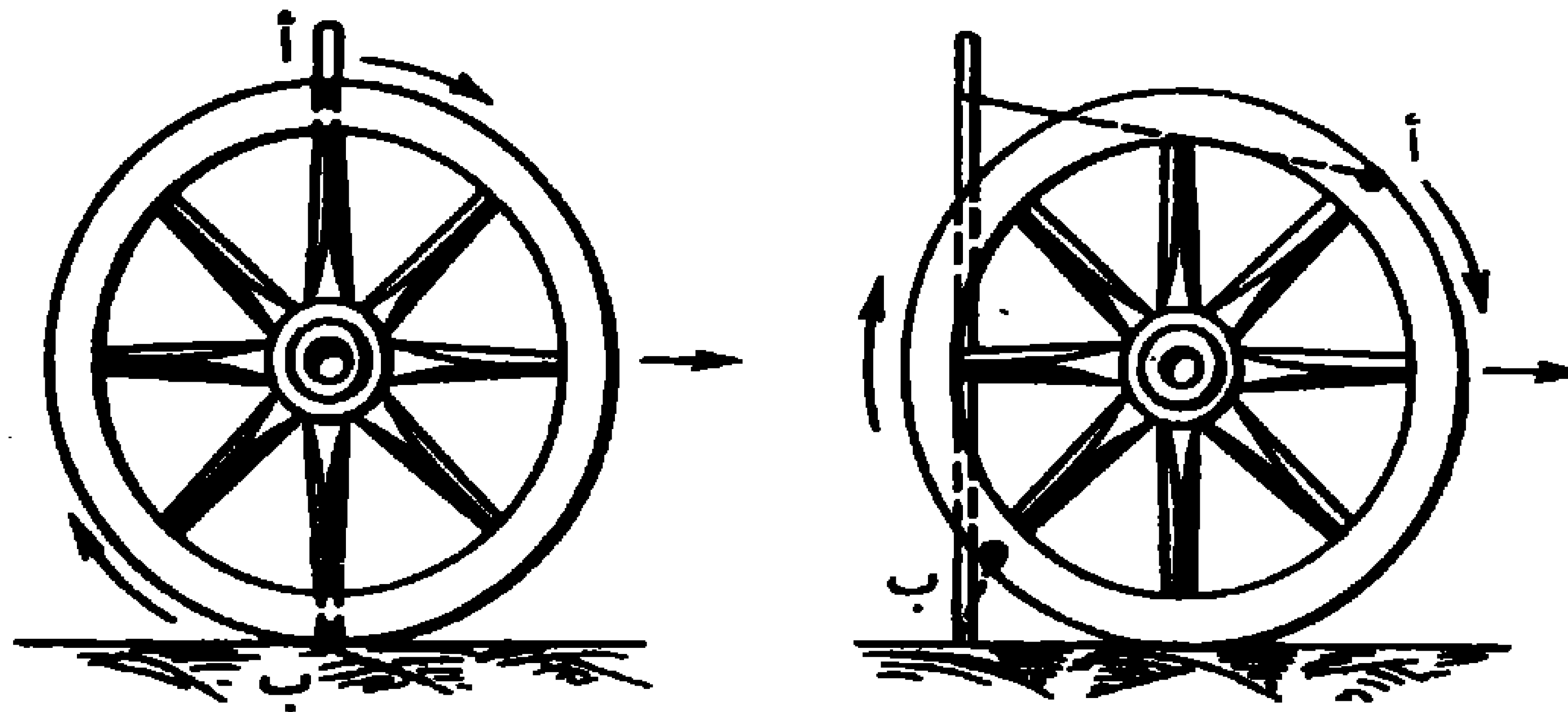
واذا نظرت الى الشكل ٦ ، ستعلم ان سرعة الدوران تضاف الى السرعة الانتقالية للارض عند منتصف الليل ، اما عند منتصف النهار ، فعلى العكس ؛ تطرح سرعة الدوران من السرعة الانتقالية . وهذا يعنى اننا فى المنظومة الشمسية ، نتحرك عند منتصف الليل ، اسرع مما نتحرك عند منتصف النهار . وبما ان نقاط خط الاستواء تقطع فى الثانية الواحدة ، حوالى نصف كيلومتر ، فان الفرق بين السرعة عند منتصف النهار والسرعة عند منتصف الليل ، يصل فى منطقة خط الاستواء الى كيلومتر واحد فى الثانية .

لغز عجلة العربة

الصق قطعة ورق ملون ، على جانب اطار عجلة العربة (او عجلة الدراجة الهوائية) ، وتتبع ما يحدث لها عندما تدور العجلة . سترى ظاهرة غريبة : تتميز الورقة الملونة بوضوح عند وقوعها فى القسم السفلى من الاطار الدوّار . اما عند وقوعها فى القسم العلوى منه ، فانها تمر بسرعة كبيرة ، حتى لا تكاد العين تميزها .

ويظهر من ذلك ، كأن القسم العلوى من العجلة يتحرك اسرع من القسم السفلى . ويمكن ملاحظة نفس الظاهرة ، اذا قارنا بين البرامق السفلى والبرامق العليا لعجلة دوّارة فى عربة ما . وسنرى البرامق العليا ، وكأنها مندمجة فى جسم واحد متماسك . اما البرامق السفلى فتبدو بصورة منفردة . لقد تكرر حدوث نفس الشيء بالذات ، كما لو ان القسم العلوى من العجلة يتحرك اسرع من القسم السفلى .

اين يكمن اذن لغز هذه الظاهرة الغريبة ؟ ان المسألة بسيطة وليس هناك اى لغز . اذ ان القسم العلوى من العجلة الدوارة ، يتحرك فى الحقيقة ، اسرع من القسم السفلى . ان هذه الحقيقة تبدو للوهلة الاولى مستحيلة . ولكننا نقتنع بها بعد نقاش بسيط . ان كل نقطة من نقاط العجلة الدوّارة ، تقوم بحركتين فى وقت واحد : تدور حول المحور ، وفى نفس الوقت تتحرك الى الامام مع ذلك المحور . ان ما يحدث للعجلة هنا ، شبيه بما يحدث للارض ، فعند جمع الحركتين ، تختلف النتيجة فى القسم العلوى للعجلة ، عما هى عليه فى القسم السفلى . ففى اعلى العجلة الدوارة ، تضاف حركة الدوران الى الحركة الانتقالية ، وذلك لانهما فى اتجاه واحد ، اما فى اسفل العجلة الدوارة ، فتكون حركة الدوران ، عكس الحركة الانتقالية . لذا ، فانها تطرح من الاخيرة . ومن هنا يتضح سبب تحرك القسم العلوى للعجلة ، اسرع من القسم السفلى ، بالنسبة للمراقب الذى لا يتحرك .



شكل ٧ : اذا قارنا بين بعدى نقطتى العجلة المتدحرجة أ و ب (الرسم الايمن) عن العصا الثابتة ، لاتضح لنا بأن قسم العجلة العلوى يتحرك اسرع من القسم السفلى .

ويتم ادراك هذه الحقيقة بسهولة ، وذلك بتجربة بسيطة يمكن اجراؤها في الوقت المناسب . اغرز عصا في الارض ، بالقرب من عجلة ، بحيث تنتصب العصا مقابل المحور . ثم خذ قطعة من الطباشير او الفحم ، وضع علامتين في اعلى واسفل قسمين من اقسام اطار العجلة ؛ بحيث تكونان مقابل العصا تماما . والآن ، دحرج العجلة قليلا الى اليمين (شكل ٧) ، بحيث يبتعد محورها عن العصا ، بمسافة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ سم ، ولاحظ كيف تغيّر وضع العلامتين . يتضح ان العلامة العليا أ ، قد قطعت مسافة اكبر ، مما قطعته العلامة السفلى ب ، التي لم تكد تبتعد عن العصا الا قليلا .

ابطأ قسم في العجلة

وهكذا ، فان كافة نقاط العجلة الدوارة ، لا تتحرك بسرعة واحدة . اذن ، فاي قسم من اقسام العجلة الدوارة ، يتحرك ابطأ من بقية الاقسام ؟ ليس من الصعب ، ان نتصور ، ان ابطأ النقاط حركةً ، هي نقاط العجلة ، التي تكون في لحظة معينة ، ملامسة للارض . وبكلمة ادق ، تكون تلك النقاط عند ملامستها للارض ، ساكنة تماما .

ان كل ما ذكرناه آنفا ، ينطبق فقط على العجلة المتدحرجة ، ولا ينطبق على العجلة التي تدور على محور ثابت . مثلا ، في العجلة الحذافة ، تتحرك النقاط العليا والسفلى للاطار بسرعة واحدة .

مسألة وليست نكتة

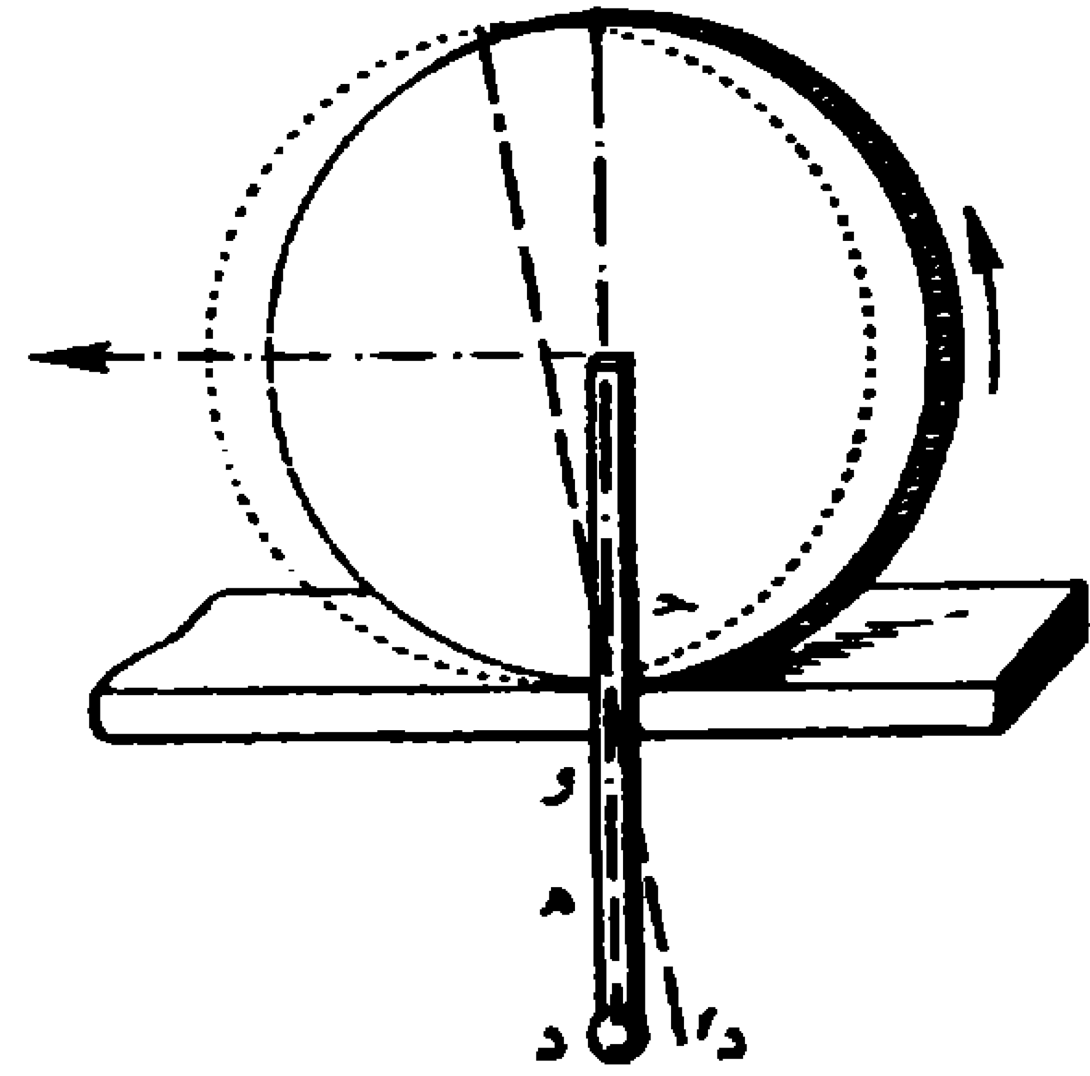
لنبحث الآن مسألة ، لا تقل طرافة عن سابقتها : هل توجد في القطار الذاهب من لينينغراد الى موسكو مثلا ، نقاط . تتحرك عكسيا بالنسبة للسكة الحديدية ، اى من موسكو الى لينينغراد ؟

يظهر ان مثل هذه النقاط موجودة دائما ، على كل عجلة من عجلات القطار . ولكن اين تقع هذه النقاط ؟

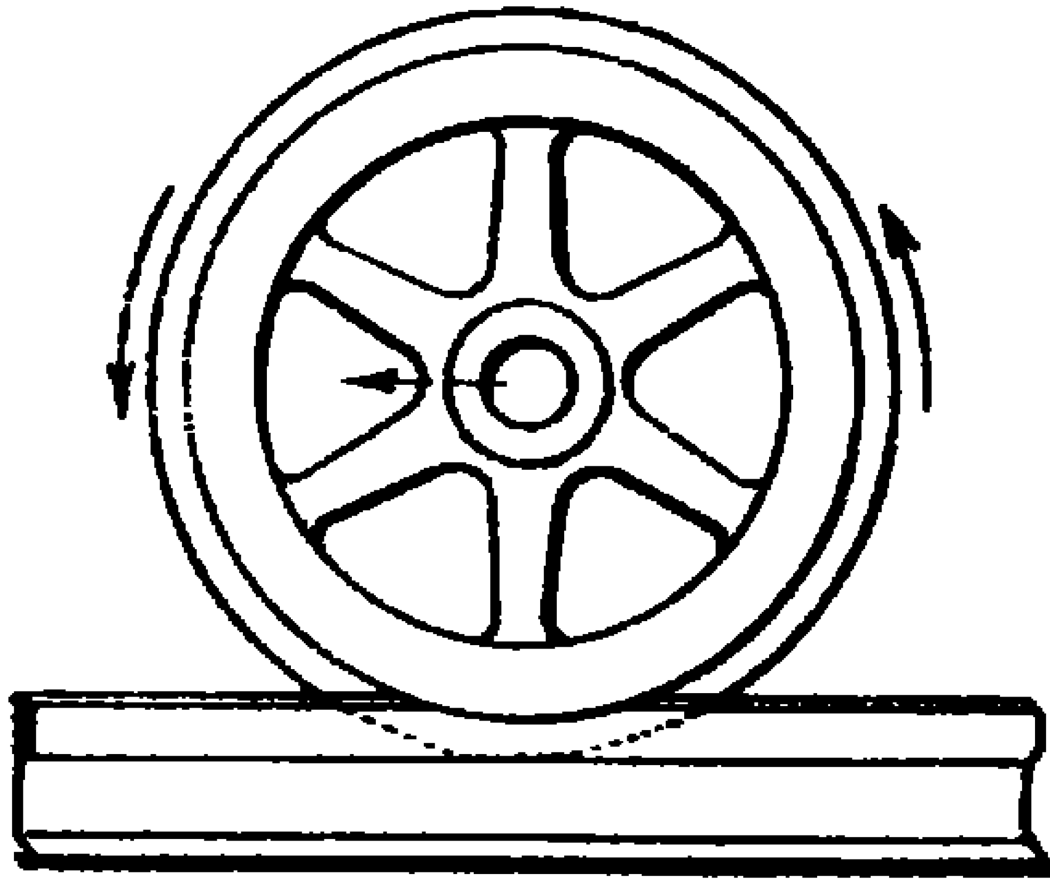
من البديهي ان لعجلة القطار حتارا بارزا (شفة الاطار الخارجي) ، والظاهر ان النقاط السفلى لهذا الحتار البارز ، لا تتحرك بنفس اتجاه حركة القطار ، بل بعكسها تماما . ويمكن التأكد من ذلك ، باجراء التجربة التالية : الصق بواسطة الشمع عود ثقاب بقرص صغير ، مثلا ، بقطعة نقدية او بزّر من ازرار الملابس ، بحيث ينطبق العود على نصف قطر القرص ، ويبرز عن حافته كثيرا . والآن اذا جعلنا القرص (شكل ٨) يرتكز على حافة مسطرة ، فى النقطة جـ ، وبدأنا بدحرجة القرص من اليمين الى اليسار ، نرى ان نقاط القسم البارز من العود ، وهى و ، هـ ، د ، لا تتحرك الى الامام ، بل الى الوراء . وكلما كانت النقطة بعيدة عن حافة القرص ، كلما كانت حركتها الى الوراء اوضح ، عند دحرجة القرص (تتحول نقطة د الى دَ) .

ان نقاط الحتار البارز لعجلة القطار ، تتحرك مثلما يتحرك القسم البارز من عود الثقاب فى تجربتنا هذه .

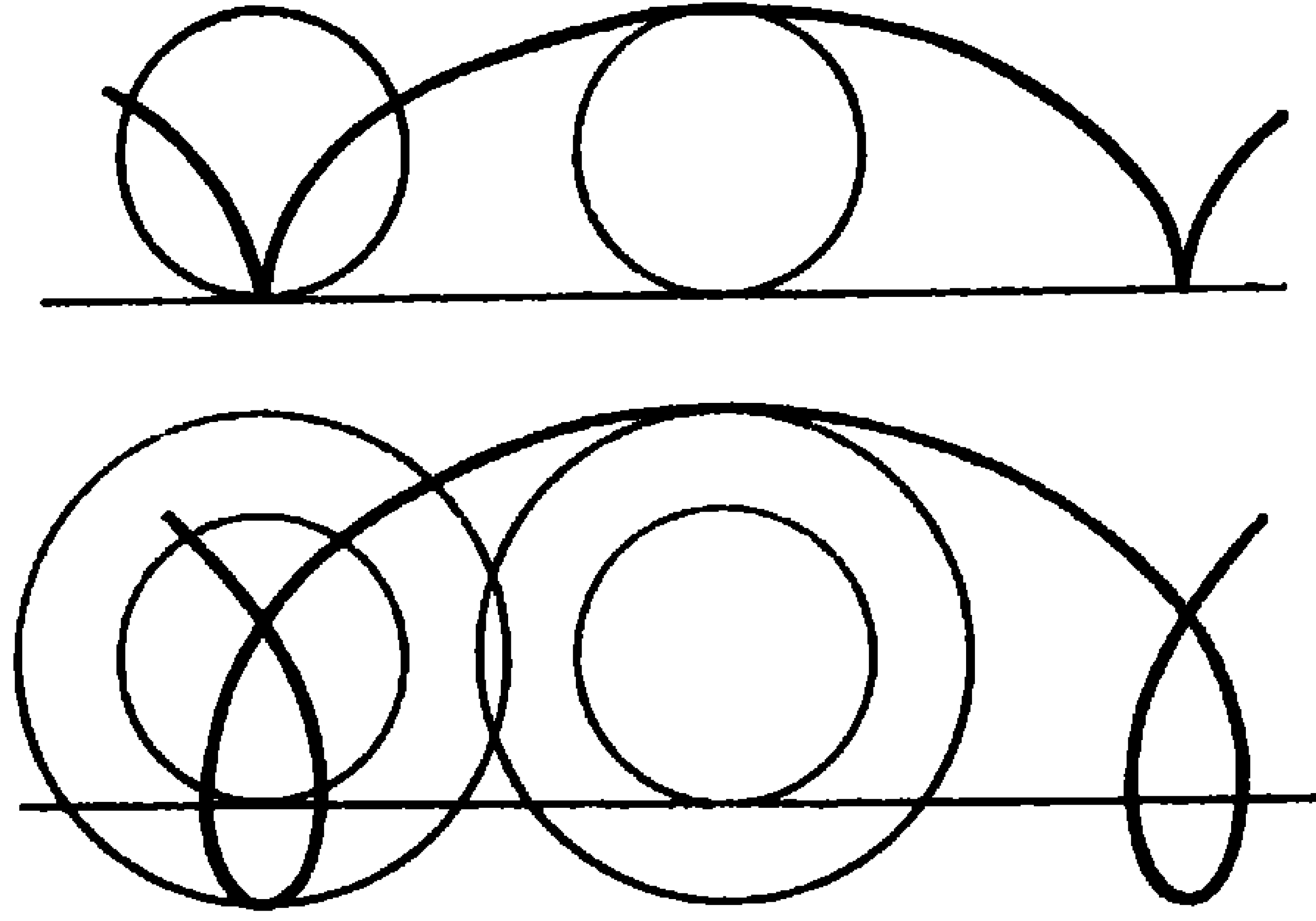
اذن ، سوف لا يثير دهشتكم الآن ، احتواء القطار على نقاط تتحرك عكس حركته .



شكل ٨ : تجربة القرص وعود الثقاب . عندما يتدحرج القرص نحو اليسار ، تتحرك نقاط الجزء البارز من العود و ، هـ ، د فى الاتجاه المعاكس .



شكل ٩ : عندما تتحرك عجلة القطار الى اليسار ، يتحرك القسم السفلى لاطارها الى اليمين ، اى فى الاتجاه المعاكس .



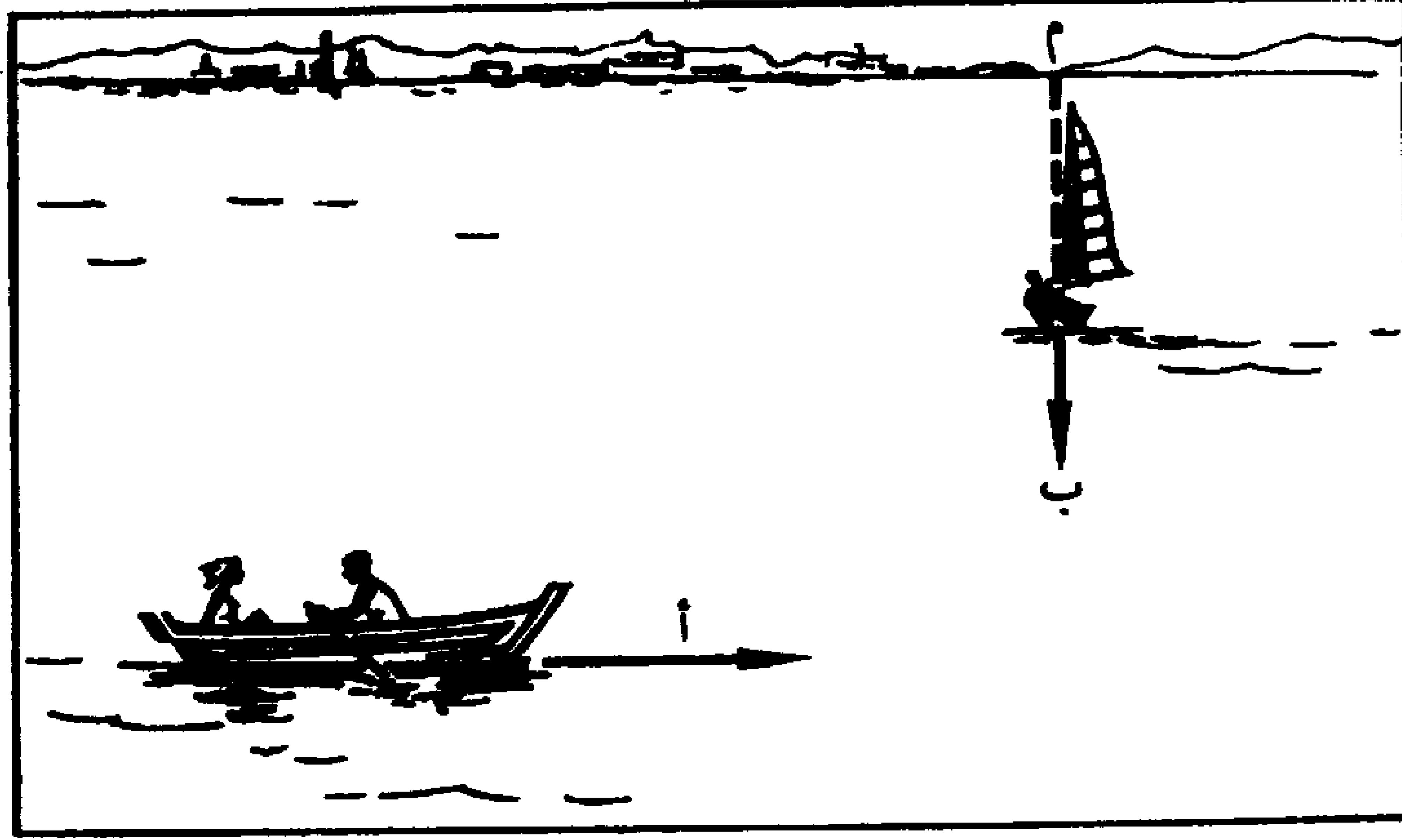
شكل ١٠ : يبين الرسم العلوى ، ذلك المنحنى الذى ترسمه كل نقطة من نقاط اطار عجلة العربة المتحركة . ويبين الرسم السفلى ، المنحنى الذى ترسمه كل نقطة من نقاط اطار عجلة القطار .

وفي الحقيقة ، ان هذه الحركة لا تستغرق سوى جزءا مهملا من الثانية ، ولكن على اىّ حال ، فان الحركة المعاكسة لسير القطار ، موجودة ، على الرغم من تصوراتنا العادية . والشكلان ٩ و ١٠ يوضحان ذلك .

من اى اتجاه أتى القارب؟

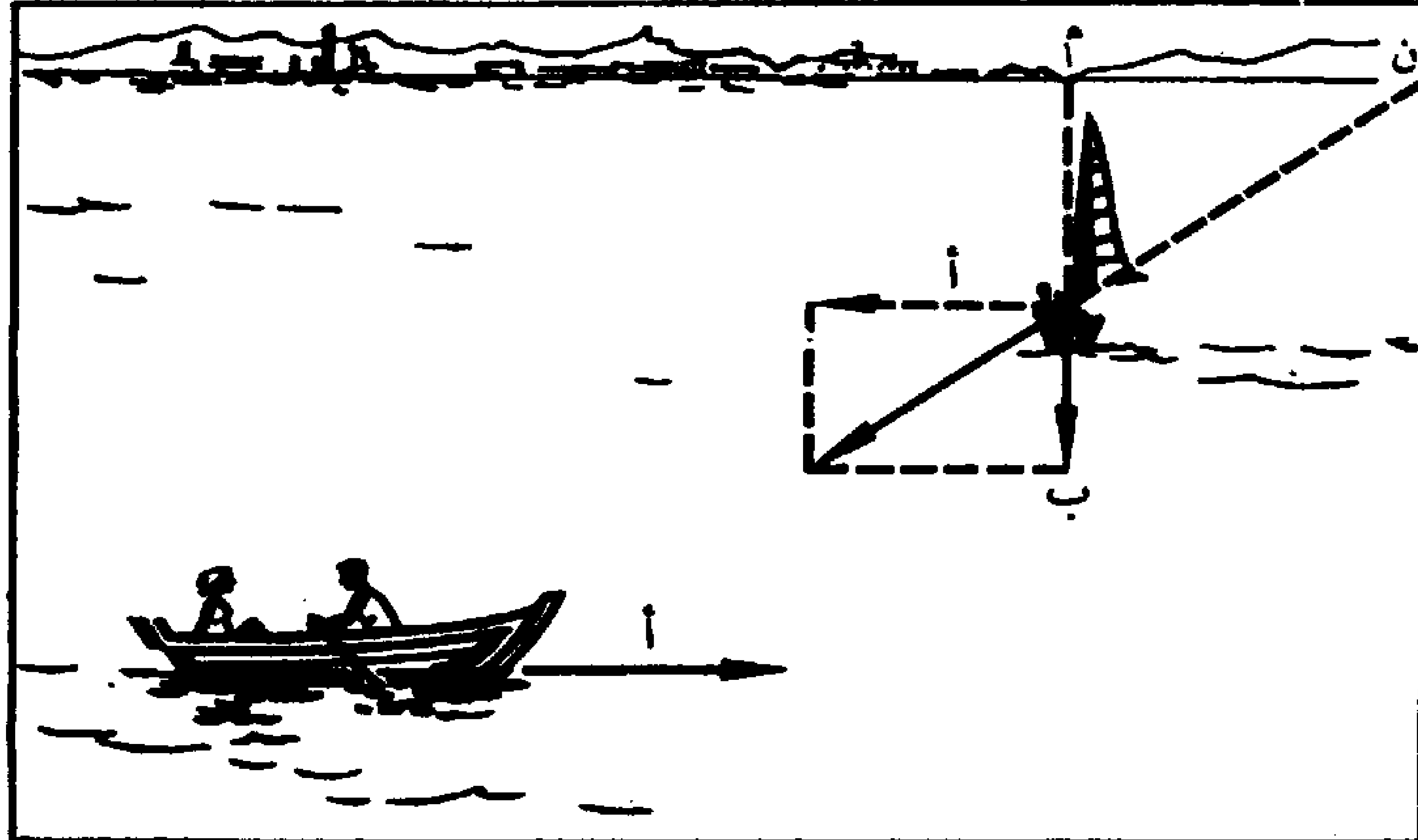
تصور ان قارب تجديف معين يطفو على سطح بحيرة ، بحيث يمثل السهم أ (شكل ١١) اتجاه وسرعة حركة القارب . وهناك قارب شراعى يسير باتجاه يقطع اتجاه قارب التجديف ، ويمثل السهم ب اتجاه وسرعة القارب الشراعى . فاذا سئل القارىء من اية جهة أتى القارب الشراعى ، لأشار فى الحال الى النقطة م ، الواقعة على الشاطئ . واذا سئل راكب القارب الشراعى ، نفس السؤال ، لأشار الى نقطة اخرى تماما . فلماذا ؟

ان السبب فى ذلك ، هو ان الراكب لا يرى ان القارب يشكل عند سيره زاوية قائمة ، مع الممر المقرر ان يسلكه. ان الراكب ، لا يشعر طبعا بحركته الذاتية : اذ



شكل ١١ : ان طريق القارب الشراعى يقطع طريق قارب التجديف . ويشير كل من السهمين أ و ب الى سرعتى القاربين . ما الذى سيراه المجدفون ؟

يبدو له ، انه واقف فى مكانه ، بينما تتحرك الاشياء المحيطة به ، بنفس سرعة حركته الذاتية ، ولكن فى الاتجاه المعاكس . لذلك ، يبدو له ان القارب الشراعى لا يتحرك فى اتجاه السهم ب ، فقط ، بل كذلك فى اتجاه الخط المنقط أ ، عكس حركة قارب



شكل ١٢ : سوف يظن المجدفون بأن طريق القارب الشراعى لا يتقاطع مع طريقهم ، بل ينحرف عنه ، كما لو كان القارب الشراعى قادما من النقطة ن لا من النقطة م .

التجديف (شكل ١٢) . ان هاتين الحركتين — الحقيقية والظاهرة — تجمعان حسب قاعدة متوازى الاضلاع . ونتيجة لذلك ، يبدو لراكب قارب التجديف ، وكأنّ القارب الشراعى يتحرك على القطر المتوازى الاضلاع ، المرسوم من المستقيمين أ و ب . ولهذا السبب ايضا ، يبدو للراكب ان القارب الشراعى لم يبدأ مسيره من النقطة م ، الواقعة على الشاطئ ، لكنه بدأ المسير من نقطة اخرى ، هى النقطة ن ، الواقعة بعيدا الى الامام ، باتجاه حركة القارب الشراعى (شكل ١٢) .

وعند دوراننا مع الارض حول مدارها ، ورؤيتنا لضياء الكواكب ، فاننا نحدد مصدر الضياء بصورة غير صحيحة ايضا ، كما يحدد راكب قارب التجديف ، النقطة التى اتجه منها القارب الشراعى . ولذلك تبدو لنا الكواكب ، وكأنها قد ازيحت قليلا الى الامام ، باتجاه حركة الارض المدارية . وبالطبع ، فان سرعة دوران الارض ، ذات قيمة مهملة ، بالمقارنة مع سرعة الضوء (اقل من سرعة الضوء بعشرة آلاف مرة) ؛ لذلك تكون الازاحة الظاهرة للكواكب ، قليلة جدا . لكننا نستطيع تحديدها بواسطة الاجهزة الفلكية . وتسمى هذه الظاهرة بزَيَغان الضوء .

واذا كان القارئ مهتما بمثل هذه المسائل ، فليحاول الاجابة على السؤالين التاليين ، المتعلقين بمسألة القارب :

١ — باى اتجاه يسير قارب التجديف ، من وجهة نظر راكب القارب الشراعى ؟

٢ — الى اين يتجه قارب التجديف ، كما يتراءى لراكب القارب الشراعى ؟

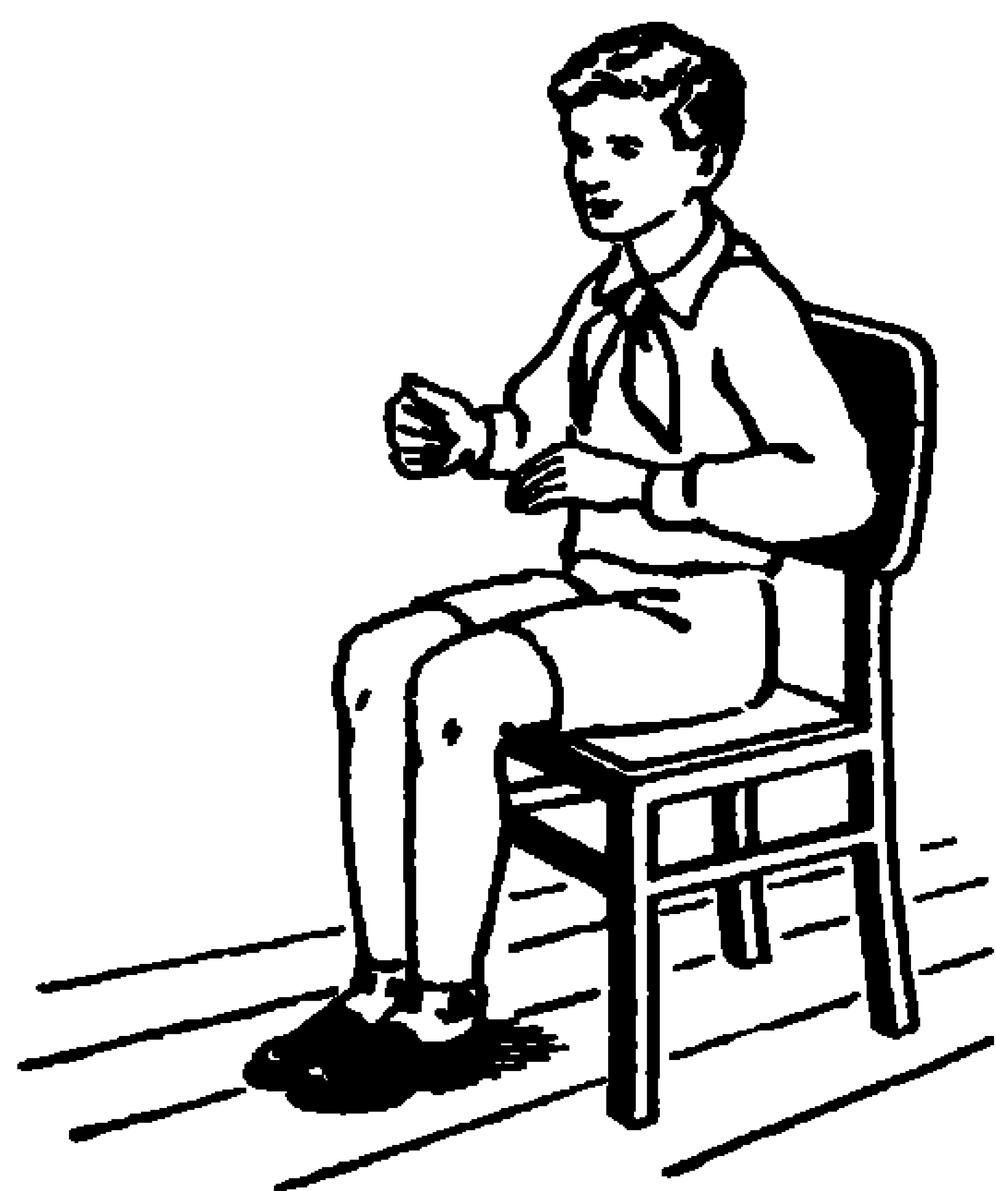
للاجابة على هذين السؤالين ، يجب على القارئ ان يرسم من المستقيم أ (شكل — ١٢) متوازى اضلاع السرع . عندئذ سيبين قطر متوازى الاضلاع هذا ، انه يبدو من وجهة نظر راكب القارب الشراعى ، ان قارب التجديف يسير فى اتجاه مائل ، وكأنه يتهيّأ للرسو على الشاطئ .

الفصل الثانى | الثقل والوزن .العطالة . الضغط

حاول ان تنهض !

ستظن انني امزح معك ، اذا قلت لك : ساجلسك على الكرسى ، بحيث لا تستطيع النهوض بعد ذلك ، علما بانني لن اربطك اليه .

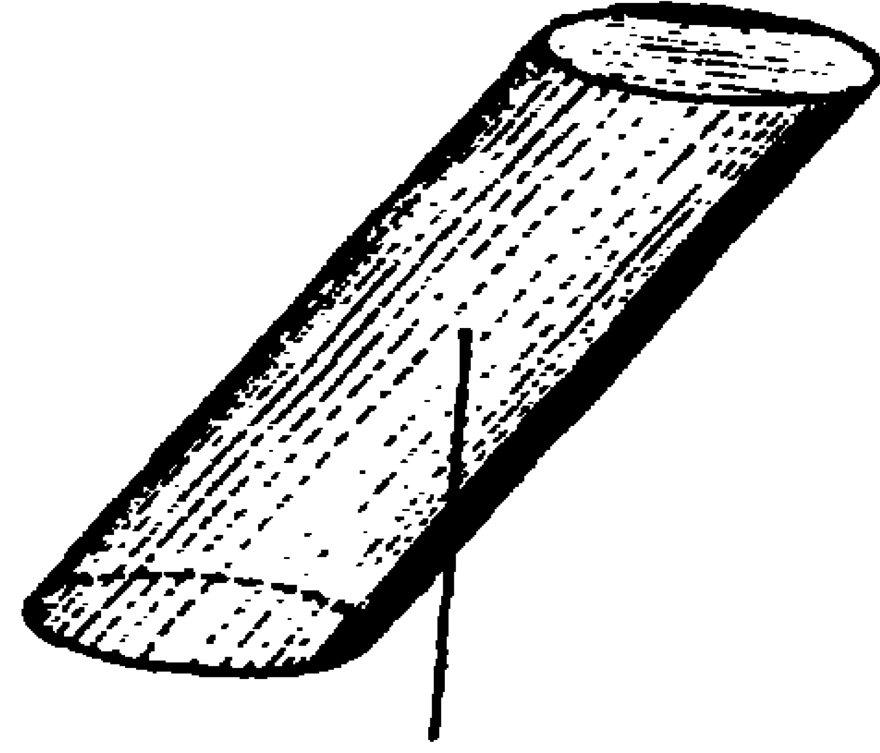
حسنا ، اجلس كما يجلس الفتى الظاهر فى الشكل ١٣ ، اى بصورة معتدلة ، دون ان تدفع قدميك تحت الكرسى . والآن ، حاول ان تنهض ، مع المحافظة على وضع القدمين وعدم الانحناء الى الامام . انك لن تستطيع النهوض مهما بذلت من قوة عضلية ، ما لم تدفع قدميك تحت الكرسى ، او تحنى جذعك الى الامام .



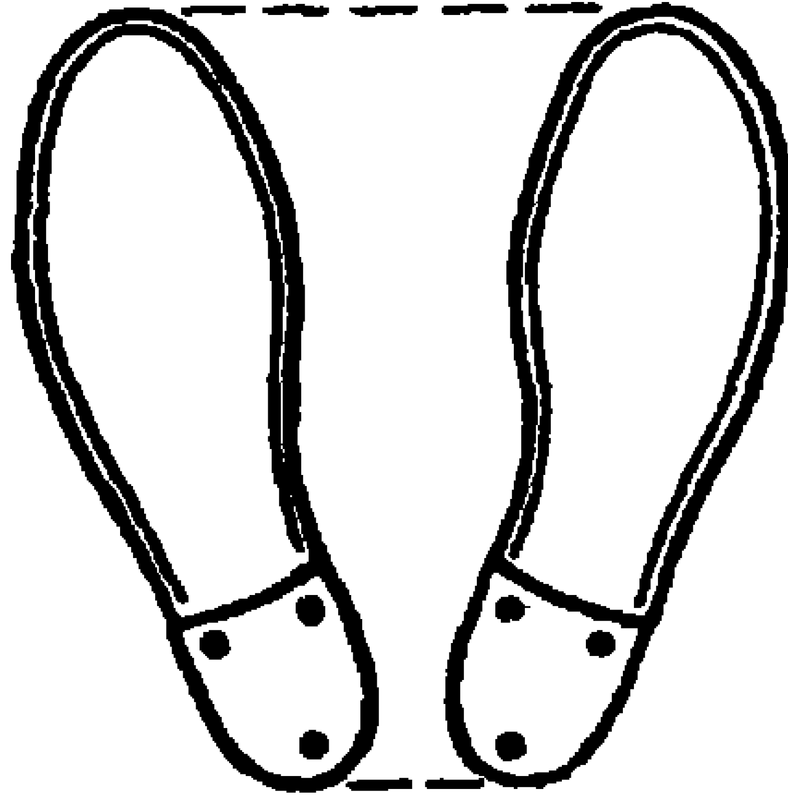
شكل ١٣ : لا يستطيع الشخص الجالس بهذه الطريقة ، ان ينهض على قدميه .

ولكى تدرك سبب ذلك ، دعنى احدثك بعض الشىء عن توازن الاجسام بصورة عامة ، وتوازن جسم الانسان بصورة خاصة . ان الجسم المنتصب لا ينقلب على الارض بتاتا ، اذا كان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، مارا بقاعدته . ولذلك ، فان الاسطوانة (شكل ١٤) لا بد وان تنقلب ؛ الا اذا كانت مساحة قاعدتها اكبر ، بحيث يمر من خلالها الخط العمودى النازل من مركز ثقل الاسطوانة .

ان برجى بيزا وبولون المائلين ، او حتى برج الجرس المائل ، فى مدينة ارخانجلسك



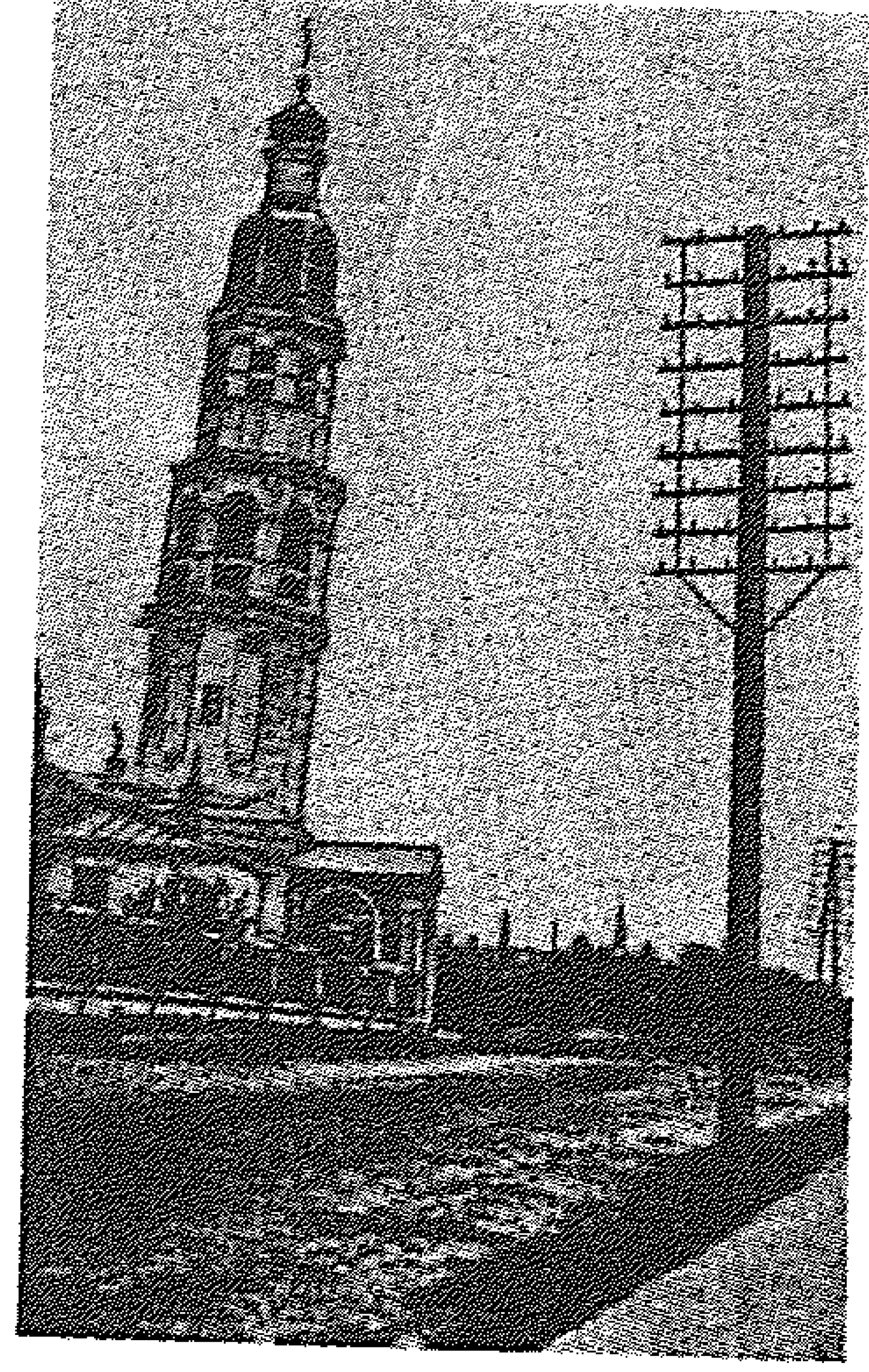
شكل ١٤ : ان هذه الاسطوانة يجب ان تنقلب على الارض ، لان الخط العمودى النازل من مركز ثقلها ، لا يمر بقاعدتها .



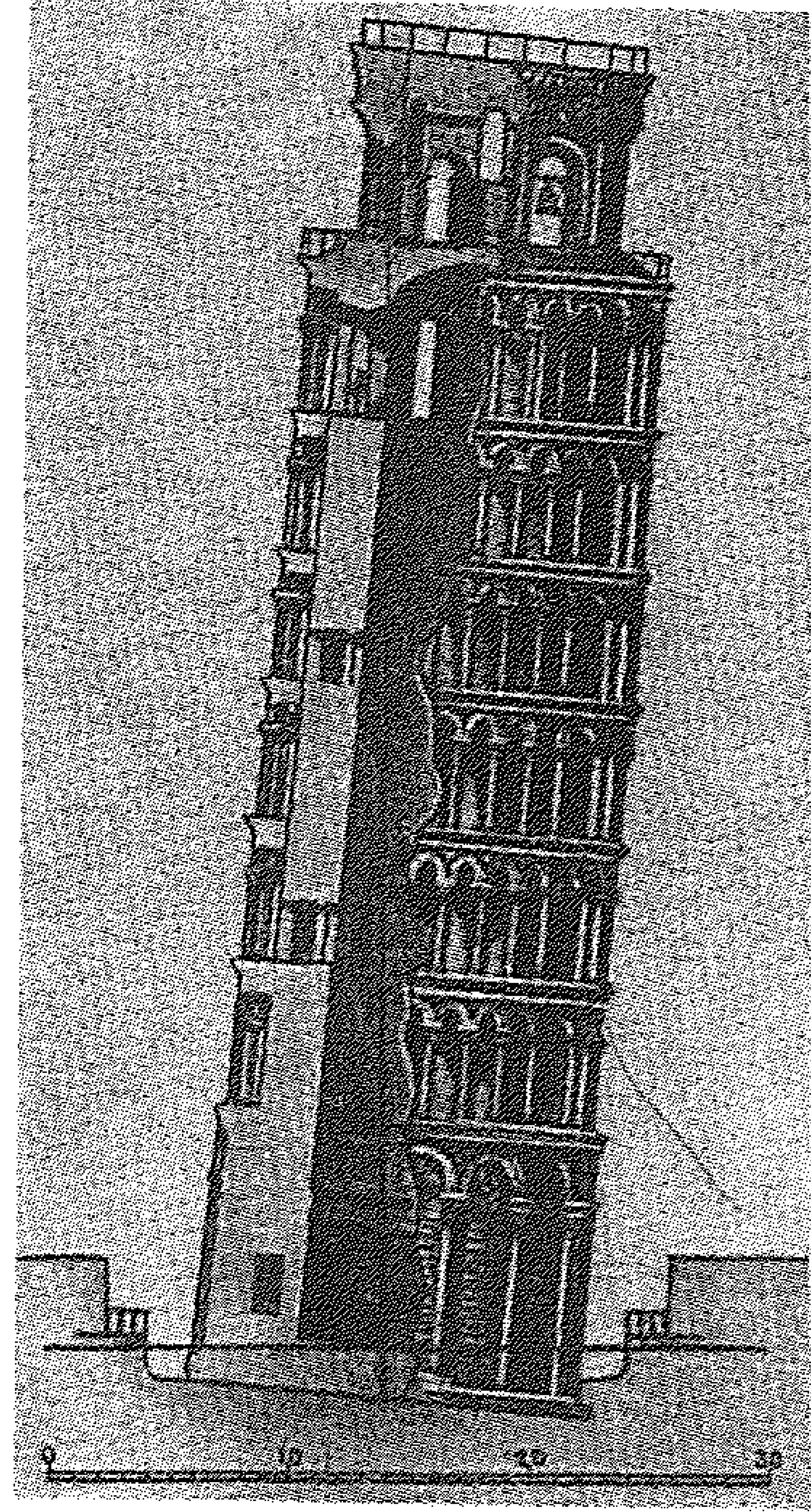
شكل ١٦ : عندما يكون الشخص واقفا ، فان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، يمر ضمن المساحة المحاطة بالحافات الخارجية لقدميه .

السوفييتية (شكل ١٥) لا تنقلب بالرغم من ميلانها ، لنفس السبب ايضا . وهو عدم خروج الخط العمودى النازل من مركز ثقلها ، عن حدود القاعدة (وهناك سبب آخر ثانوى ، هو عمق اسس تلك الابراج .

والشخص الواقف ، لا يقع على الارض ، الى ان يخرج الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، عن المساحة المحاطة بالحافات الخارجية لقدميه (شكل ١٦) . لذلك ؛ فمن الصعب الوقوف على قدم واحدة ؛ ومن الاصعب كثيرا ، الوقوف على الحبل لان القاعدة تكون صغيرة جدا ، ويمكن بسهولة ان يخرج الخط العمودى عن حدودها . هل لاحظت المشية الغريبة « لذئاب البحر » المتقدمة فى العمر ؟ ان البحارة ، وهم يقضون حياتهم على ظهر سفينة متأرجحة ، حيث يتعرض الخط العمودى النازل من مركز ثقل الجسم ، فى كل لحظة ، للخروج عن الفسحة التى تشغلها القدمان ، يتعوّدون على السير ، بحيث تشغل قاعدة الجسم (اى الساقان المتباعدتان) ، اكبر فسحة ممكنة . وهذا يساعد البحارة على الوقوف بثبات على السطح المتأرجح . ومن الطبيعى ان يحتفظ البحارة بهذه العادة ، حتى عندما يسيرون على اليابسة . ويمكن كذلك ، ان نأتى بمثال عكسى ، هو انه تنجم عن ضرورة محافظة الانسان على توازنه ، وضعية



شكل ١٥ : برج ارخانجلسك المائل (فى الاعلى)
وبرج بيزا المائل (فى الاسفل)



جميلة . هل لفت نظرك ، ذلك المنظر الغريب ، للشخص الذى يحمل على رأسه حملا؟ عندما يحمل الشخص حملا على رأسه ، يضطر الى نصب رأسه وقامته ، لان اقل انحراف ، يهدد بخروج مركز الثقل (الذى يكون فى هذه الحالة اكثر ارتفاعا ، مما هو عليه فى الوضع الطبيعى) عن محيط القاعدة ، وعندئذ سيختل توازن الجسم .

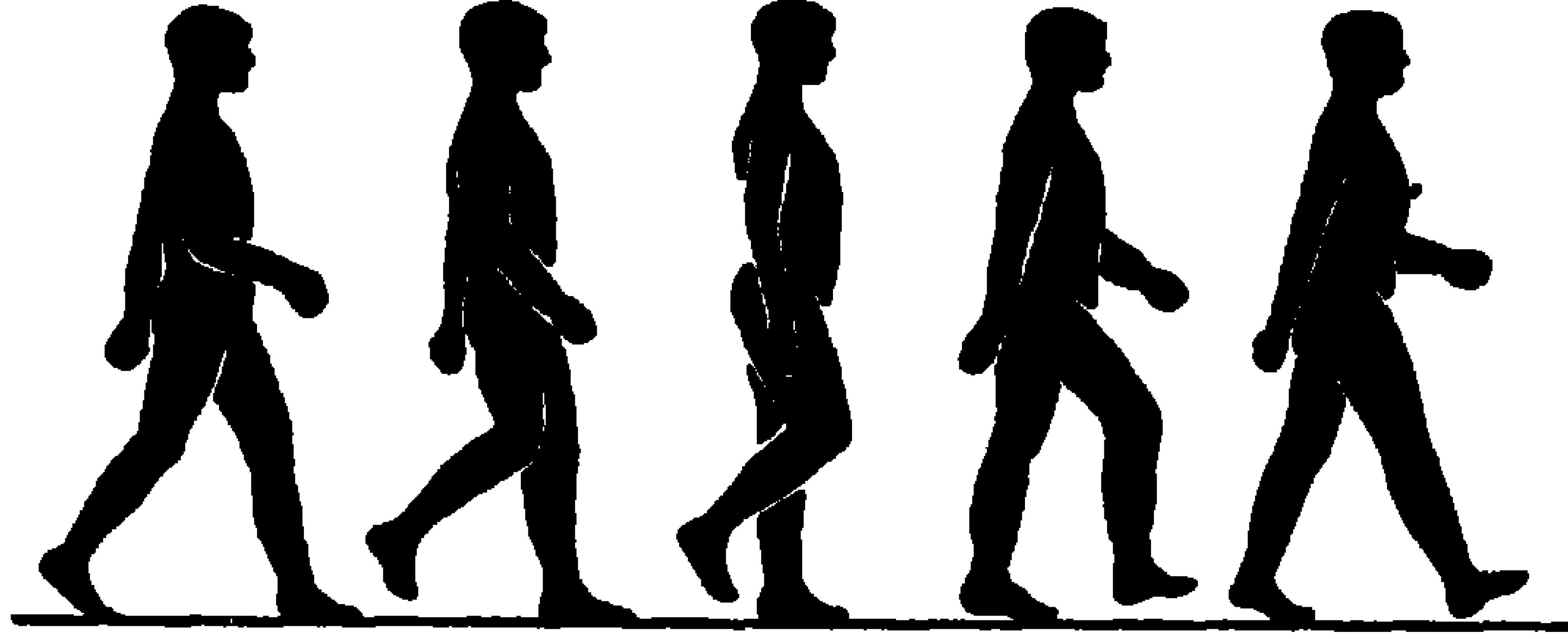
والآن نعود الى تجربة نهوض الشخص الجالس . ان مركز ثقل جذع الشخص الجالس ، يقع داخل الجسم ، قرب العمود الفقرى ، على ارتفاع ٢٠ سم عن مستوى السرّة . نرسم من هذه النقطة خطا عموديا الى الاسفل ، فنرى ان هذا الخط يمر تحت الكرسى فيما وراء القدمين . ولكى يستطيع الانسان النهوض ، يجب ان يمر ذلك الخط العمودى ، بين القدمين .

وهذا يعنى ، اننا عند نهوضنا ، يجب علينا اما ان ندفع بصدرنا الى الامام ، فنزيح بذلك مركز الثقل ، او ان نحرك ارجلنا الى الوراء ، لكى نجعل القاعدة تقع تحت مركز الثقل . ونحن نفعل ذلك عادة ، عندما ننهض من الكرسى . ولكن اذا لم يسمح لنا ان نفعل هذا او ذاك ، فسيكون النهوض متعذرا ، كما يتضح من التجربة المذكورة .

المشى والركض

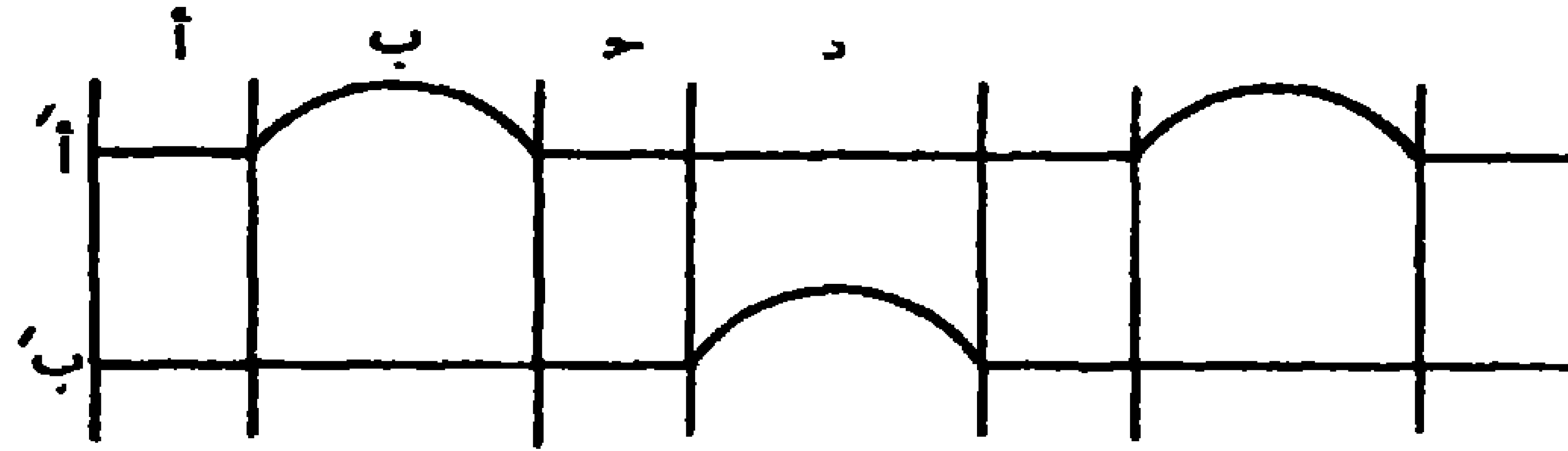
ان الشىء الذى تقوم به عشرات الالوف من المرات فى اليوم خلال حياتك ، يجب ان يكون معروفا لديك معرفة تامة . هذا امر متعارف عليه ، ولكنه ليس بالامر الصائب على الدوام . وخير مثال على ذلك ــ المشى والركض . هل هناك شىء ما ، اكثر معرفة لدينا من هاتين الحركتين ؟ وهل يوجد كثير من الناس الذين يتصورون بوضوح ، كيف نحرك جسمنا عند المشى والركض ، وما هو تفسير هذين النوعين من الحركة ؟ لنسمع الآن ما تقوله الفسيولوجيا * عن المشى والركض . وانا واثق من ان الحديث ، سيكون جديدا تماما بالنسبة لمعظم القراء .

* ان الحديث هنا مقتطف من كتاب «محاضرات فى علم الحيوان» للبروفيسور بول بير . اما الرسوم الايضاحية الملحقة ، فمن وضع المؤلف .



شكل ١٧ : طريقة مشى الانسان . الاوضاع المتعاقبة للجسم اثناء المشى .

« لنفرض ان شخصا يقف على رجل واحدة ، ولتكن الرجل اليمنى على سبيل المثال . ولنتصور انه يرفع عقبه (كعبه) ، ويحنى جذعه الى الامام فى نفس الوقت *.



شكل ١٨ : رسم تخطيطى لحركات القدمين اثناء المشى. الخط العلوى (أ′) يمثل القدم اليسرى ، والخط السفلى (ب′) يمثل القدم اليمنى . والخطوط المستقيمة تشير الى حالات ارتكاز القدم على الارض ، اما الخطوط المنحنية فتشير الى حالات تحرك القدم فى الهواء . ويتضح من الرسم التخطيطى ، ان كلتا القدمين ترتكزان على الارض خلال الفاصلة الزمنية أ ، وخلال الفاصلة الزمنية ب تتحرك القدم أ′ فى الهواء ، وتبقى القدم ب′ على الارض ، وخلال الفاصلة الزمنية حـ تعود القدمان الى الارتكاز على الارض ثانية . وبازدياد سرعة المشى تقل الفاصلتان الزمنيتان أ و حـ (قارن هذا الرسم التخطيطى مع الرسم التخطيطى لحركات القدمين اثناء الركض ، المبين فى الشكل ٢٠) .

وفى مثل هذا الوضع ، يصبح من المفهوم ان الخط العمودى النازل من مركز الثقل ، سيخرج عن مساحة قاعدة الارتكاز ، ويجب ان يقع الشخص اماما على الارض .

---

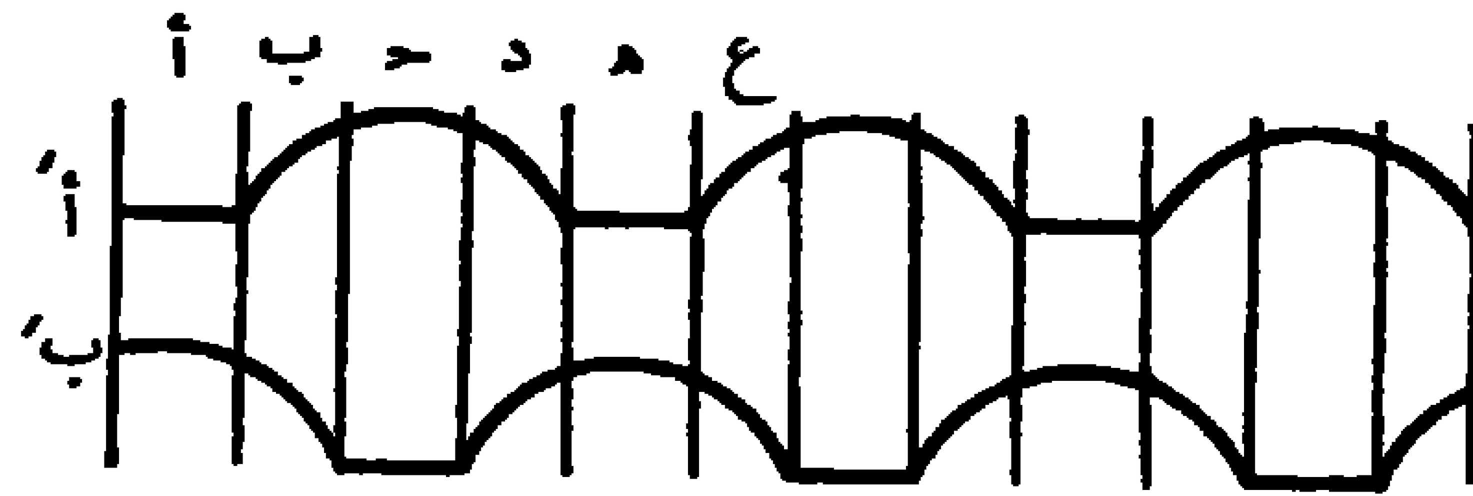
* عند القيام بذلك ، يدفع الشخص الماشى نفسه ، مبتعدا عن موضع الارتكاز ، ويولد فى ذلك الموضع ضغطا قدره ٢٠ كجم ، يضاف الى وزن الجسم . ومن هنا ، بهذه المناسبة ، ينتج ان الشخص الماشى ، يضغط على الارض بقوة ، اكبر من تلك التى يضغط بها الشخص الواقف — المؤلف .



شكل ١٩ : طريقة ركض الانسان . الاوضاع المتعاقبة للجسم اثناء الركض (هناك لحظات معنية ، تكون فيها كلتا القدمين مرتفعتين فى الهواء) .

ولكن ما ان يبدأ الشخص بالوقوع ، حتى تتحرك رجله اليسرى المعلقة فى الهواء ، حركة سريعة الى الامام لتستقر على الارض ، اما العمود النازل من مركز الثقل ، بحيث يقع ذلك العمود ، ضمن المساحة التى تشكلها الخطوط الواصلة بين نقاط ارتكاز القدمين . وبهذا الشكل ، يعود التوازن ، ويكون الشخص قد خطا خطوة واحدة الى الامام .

ويستطيع الشخص ان يبقى على هذا الوضع المتعب بما فيه الكفاية . ولكنه اذا اراد الاستمرار فى المشى ، فسيحنى جسمه اكثر الى الامام ، حتى يخرج العمود النازل من مركز الثقل عن حدود مساحة الارتكاز ، وفى اللحظة التى يشرف فيها على الوقوع ، يحرك رجله الى الامام مرة اخرى . وفى هذه الحالة ، فانه لا يحرك الرجل اليسرى ، بل اليمنى — خطوة جديدة و هلم جرا . ولذلك ، فان المشى ، ما هو الا سقطات متتابعة



شكل ٢٠ : رسم تخطيطى لحركات القدمين اثناء الركض (قارن هذا الرسم التخطيطى مع الرسم المبين فى الشكل ١٨) . يتضح من الرسم التخطيطى ان هناك لحظات معينة (ب ، د ، ع) ، تكون فيها كلتا قدمى الانسان الراكض ، مرتفعتين فى الهواء . وهذا ما يميز الركض عن المشى .

الى الامام ، يتم تلافيها فى الحين ، بتحريك الرجل المرفوعة الى الامام ، وتثبيتها على الارض .

لنبحث المسألة عن كثب . نفرض ان الخطوة الاولى قد تمت . فى هذه اللحظة ، كانت القدم اليمنى ما زالت ملامسة للارض . اما القدم اليسرى فقد وطئت الارض . ولكن اذا لم تكن الخطوة قصيرة جدا ، لكان من المحتم ان يرتفع العقب الايمن ، وذلك لان ارتفاع العقب بالخصوص ، يساعد الجسم على الانحناء الى الامام ، فيفقد التوازن . ان اول ما يطأ الارض ، هو عقب القدم اليسرى . وبعد ذلك عندما يستقر القدم برمته على الارض ، ترتفع القدم اليمنى عن الارض تماما . وفى نفس الوقت ، فان الرجل اليسرى ، المنحنيّة قليلا عند الركبة ، تأخذ بالاستقامة نتيجة لتقلص عضلة مؤخرة الفخذ ، وتصبح عمودية لبرهة وجيزة . وهذا يسمح للرجل اليمنى نصف المحنية ، بالتحرك الى الامام دون ان تلامس الارض . وبعد ان يتحرك الجسم ، تطأ الرجل اليمنى الارض بعقبها ، فى الوقت الذى تبدأ فيه الخطوة التالية بالضبط .

اما الرجل اليسرى ، التى تكون فى ذلك الحين ملامسة للارض باصابع القدم فقط ، والتى يجب ان ترتفع عن الارض باسرع وقت ، فتمر بسلسلة مماثلة من الحركات .

ويتميز الركض عن المشى ، بان الرجل الواقفة على الارض تمتد بقوة نتيجة للتقلص الفجائى لعضلاتها ، فتدفع الجسم الى الامام بحيث يصبح لبرهة وجيزة منفصلا عن الارض تماما . ثم يهبط الجسم على الارض مرة ثانية ، على الرجل الاخرى ، التى تحركت بسرعة الى الامام ، فى فترة وجود الجسم فى الهواء . وبهذا الشكل ، يكون الركض عبارة عن سلسلة من القفزات من قدم الى اخرى » .

اما فيما يتعلق بالطاقة التى يبذلها الشخص عندما يمشى على طريق افقى . فانها لا تساوى صفرا ، كما يتصور البعض . ان مركز ثقل جسم الشخص الماشى ، يرتفع عند كل خطوة ، بعدّة سنتمترات . وتبيّن الحسابات ، ان الشغل المبذول اثناء المشى على طريق افقى ، يساوى تقريبا $\frac{1}{15}$ من الشغل اللازم لرفع جسم الشخص الماشى الى مسافة تساوى طول الطريق المقطوع .

كيف يجب القفز من عربة متحركة ؟

اذا طرحنا هذا السؤال على شخص ما ، فسيكون جوابه بالطبع « الى الامام باتجاه الحركة ، طبقا لقانون القصور الذاتي » . ولكن لنطلب منه ان يشرح بالتفصيل ، دور قانون القصور الذاتي فى هذه المسألة . يمكن عندئذ التنبؤ بحدوث ما يلى : سيبدأ محدثنا باثبات رأيه بكل ثقة . ولكننا اذا لم نقاطعه ، فسيقع بعد قليل فى حالة من الحيرة والارتباك . اذ ينتج انه من جراء القصور الذاتى بالضبط ، يجب القفز بالعكس تماما — الى الوراء بعكس اتجاه الحركة .

وفى الواقع ، فان قانون القصور الذاتى يلعب هنا دورا ثانويا — هناك سبب رئيسى يختلف عن ذلك تماما . فاذا تجاهلنا ذلك السبب الرئيسى ، لتوصلنا فى الحقيقة ، الى انه يجب القفز الى الوراء ، لا الى الامام مطلقا .

لنفرض انه وجب علينا القفز من عربة متحركة . ماذا يحدث عند ذلك ؟

عندما نقفز من عربة متحركة ، فان جسمنا المنفصل عن العربة ، يكتسب سرعة العربة (يتحرك بموجب القصور الذاتى) ويحاول ان يتحرك الى الامام . وعندما نقفز الى الامام ، فاننا بالطبع ، لا نجعل هذه السرعة تتضاءل ، ولكننا على العكس ، نجعلها تزداد اكثر .

وينتج من ذلك ، انه كان يجب علينا ان نقفز الى الوراء ، لا الى الامام باتجاه حركة العربة . وعند القفز الى الوراء ، تطرح سرعة القفزة من السرعة التى يتحرك بها الجسم بموجب القصور الذاتى ؛ ونتيجة لذلك ، فعندما يلامس جسمنا الارض ، فانه سيحاول الوقوع عليها بأقل قوة دافعة .

ولكننا اذا اردنا القفز من عربة متحركة ، فسنقفز جميعا الى الامام ، باتجاه الحركة . وهذه فى الحقيقة احسن طريقة للقفز ، وهى مضمونة لدرجة تجعلنا نحذر القراء تحذيرا شديدا ، من محاولة تجريب القفز الحرج الى الوراء من عربة متحركة .

اذن ، اين يكمن السبب ؟

يتلخص الامر فى عدم دقة الايضاح ، وفى التحفظ الذى فيه . فاذا ما قفزنا الى الامام او الى الوراء ، فاننا فى كلتا الحالتين ستتعرض لخطر الوقوع ، وذلك لأن القسم العلوى من جسمنا سيستمر فى الحركة ، فى الوقت الذى تتوقف فيه الرجلان عند ملامستهما للارض . وتكون سرعة هذه الحركة عند القفز الى الامام ، اكبر مما هى عليه عند القفز الى الوراء . والامر الذى له اهمية جوهرية فى هذا الصدد ، هو ان الوقوع الى الامام ، اكثر امانا بكثير ، من الوقوع الى الوراء . ففى الحالة الاولى ، نمد رجلينا الى الامام بحركة اعتيادية (وعند اندفاع العربة بسرعة كبيرة — نخطو عدة خطوات) وبذلك نتحاشى الوقوع . ان هذه الحركة هى حركة اعتيادية، وذلك لاننا نقوم بها طوال حياتنا ، كلما مشينا : اذ انه من وجهة نظر الميكانيكا ، كما تبيّن لنا من الموضوع السابق ، يعرّف المشى بأنه عبارة عن سقطات متتابعة الى الامام ، ليس الا ، يتم تداركها بمد الرجل الى الامام . اما عند الوقوع الى الوراء ، فلا نستطيع القيام بهذه الحركة المنقذة ، وبذلك يكون الخطر هنا اكبر كثيرا . واخيرا من المهم ادراكه ايضا ، انه عندما نقع الى الامام فعلا ، ونمد ايدينا ، نصاب برضوض اخف كثيرا، من تلك التى تصيبنا فيما لو وقعنا على ظهرنا .

وهكذا ، فان السبب فى ان القفز الى الامام من عربة متحركة ، هو اكثر امانا، لا يتوقف على قانون القصور الذاتى ، بقدر ما يتوقف علينا بالذات . ومن الواضح ، ان هذه القاعدة لا تنطبق على الجماد . ان احتمال تحطم القنينة الزجاجية ، المرميّة الى الامام من عربة متحركة ، عند سقوطها على الارض ، اكبر من احتمال تحطم القنينة المرمية فى الاتجاه المعاكس . ولذلك ، فاذا وجب عليك لسبب ما ، ان تقفز من عربة متحركة ، برمى حقائبك اولا ، فيجب ان ترميها الى الوراء ، بينما تقفز انت الى الامام .

ان الناس المجرّبين — جباة الترام والمفتشون — كثيرا ما يتصرفون كما يلى : يقفزون الى الوراء ، موجهين ظهرهم باتجاه القفزة . وبذلك يحصلون على فائدة مزدوجة : اولا ،

يقللون السرعة التى اكتسبها الجسم بموجب القصور الذاتى ، وثانيا ، يتحاشون خطر الوقوع ارضا على الظهر ، وذلك لأن الجهة الامامية لجسم الشخص القافز ، تكون باتجاه حدوث الوقوع المحتمل .

مسك رصاصة منطلقة باليد

اثناء الحرب العالمة الاولى ، كما جاء فى الصحف ، صادفت طيارا فرنسيا حادثة غير متوقعة بالمرّة . عندما كان الطيار يحلق على ارتفاع كيلومترين ، لاحظ شيئا صغيرا يتحرك على مقربة من وجهه . وما كان من الطيار الا ان التقط ذلك الشيء بيده ، وهو يظن انه حشرة . لنتصور الآن دهشة الطيار عندما ظهر له ان الشيء الذى التقطه هو رصاصة المانية منطلقة .

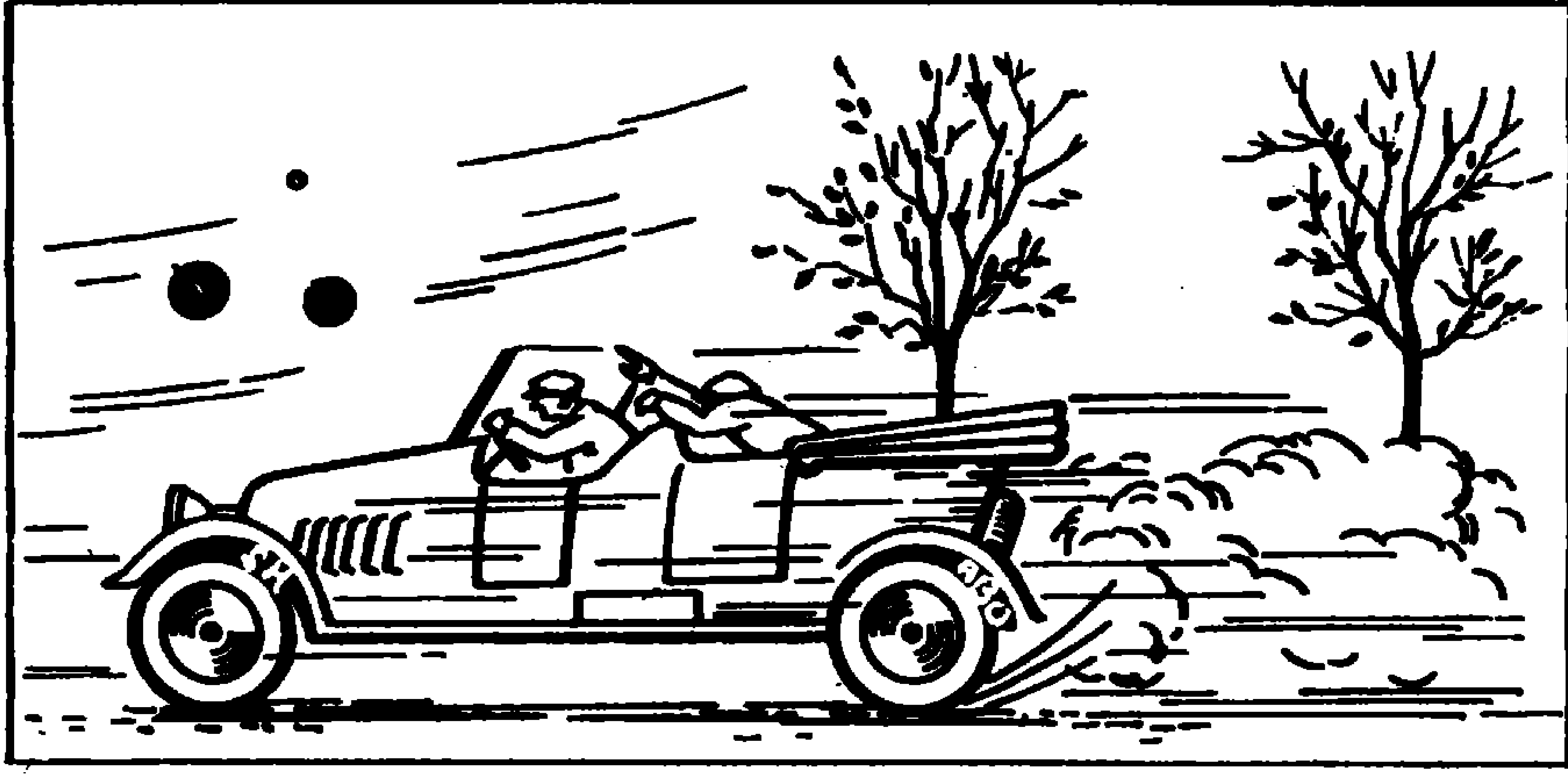
الا يذكرنا هذا بالقصص الخرافية الاسطورية للبارون مونهاوزن الذى ادعى انه امسك بيديه قذيفة منطلقة من مدفع .؟

اما فى قصة الطيار الذى التقط بيده رصاصة منطلقة ، فلا يوجد شيء مستحيل .

ان الرصاصة لا تبقى دائما منطلقة بسرعتها الابتدائية التى تتراوح بين ٨٠٠ و ٩٠٠ م/ ثانية . فنتيجة لمقاومة الهواء ، تقلل الرصاصة من سرعتها تدريجيا ، وعند نهاية طريقها تهبط سرعتها الى ٤٠ م/ ثانية فقط . وبمثل هذه السرعة الاخيرة ، كانت تحلق الطائرات فى ذلك الوقت . وهذا يعنى ، انه يمكن ان تتساوى سرعة الرصاصة المنطلقة مع سرعة الطائرة بكل سهولة . عندئذ ستصبح الرصاصة بالنسبة للطيار ، ساكنة ، او متحركة حركة بطيئة للغاية . وسوف لا يتعرض الطيار الى اى خطر ، اذا ما التقط الرصاصة بيده ، خاصة اذا كان يرتدى القفاز لان الرصاصة تسخن بشدة وهى تنطلق فى الهواء .

البطيخة القنبلة

اذا امكن للرصاصة فى ظروف معينة ، ان تصبح عديمة الضرر ، فيمكن حدوث حالة عكسية ، هى عندما يؤدى « الجسم الساكن » المرمى بسرعة بطيئة ، الى حدوث اعمال تخريبية .



شكل ٢١ : ان تأثير البطيخة المرمية من الامام على سيارة منطلقة بسرعة ، لا يقل عن تأثير « لقذيفة » .

اثناء سباق السيارات الذى جرى عام ١٩٢٤ بين مدينتى لينينغراد وتبيليسى ، رحب فلاحو القرى القوقازية بالسيارات المارة بقربهم ، وذلك بقذف المتسابقين بالبطيخ والشمام والتفاح . وقد ظهر بعد ذلك ان تأثير تلك الهدايا البسيطة ، كان تأثيرا غير مستحب بالمرة . اذ عمل البطيخ والشمام على تشويه وتحطيم جسم للسيارة ، اما التفاح فقد عمل على اصابة المتسابقين بجروح خطيرة . ان سبب ذلك واضح . لقد اضيفت سرعة السيارة الى سرعة البطيخة او التفاحة المرمية ، وحولتهما الى قذيفتين خطيرتين مدمرتين . وليس من الصعب ان نستنتج ان الطاقة الحركية للرصاصة التى تزن ١٠ جم ، هى نفس الطاقة الحركية للبطيخة التى تزن ٤ كجم ، والتى قذفت بها السيارة المنطلقة بسرعة ١٢٠ كم/ ساعة . ولكن فى مثل هذه الظروف ، لا يمكن مقارنة التأثير الصدمى للبطيخة بتأثير الرصاصة ، لان صلادة البطيخة اقل كثيرا من صلادة الرصاصة ومع تطور صناعة الطائرات النفاثة السريعة ، تكررت حوادث تصادم الطائرات مع الطيور الكاسرة ، الامر الذى أدى مرارا الى اصابة الطائرات بعطل ، بل والى سقوطها وتحطمها .

كيف يمكن لطير صغير ، ان يكون على هذه الدرجة من الخطورة بالنسبة لطائرة ثقيلة كثيرة المقاعد ؟ الا يبدو هذا غريبا ؟ ولكن عندما تبلغ سرعة الطائرة حداً يتراوح بين ٣٠٠ و ٥٠٠ م/ ثانية ، يمكن لجسم الطائر ان يخترق صفائح او زجاج قمرة الطيار . اما عندما يصيب منفث المحرك ، فيؤدى الى توقفه عن العمل . وفى عام ١٩٦٤ وقعت حادثة تصادم مماثلة لرجل الفضاء الامريكى تيودور فريمان ، عندما كان يتدرب على متن طائرة نفاثة ، اودت بحياته . ومما يضاعف من خطورة التصادم ، هو ان الطيور الكاسرة ، لا تخاف الطائرات ولا تتنحى عنها جانبا .

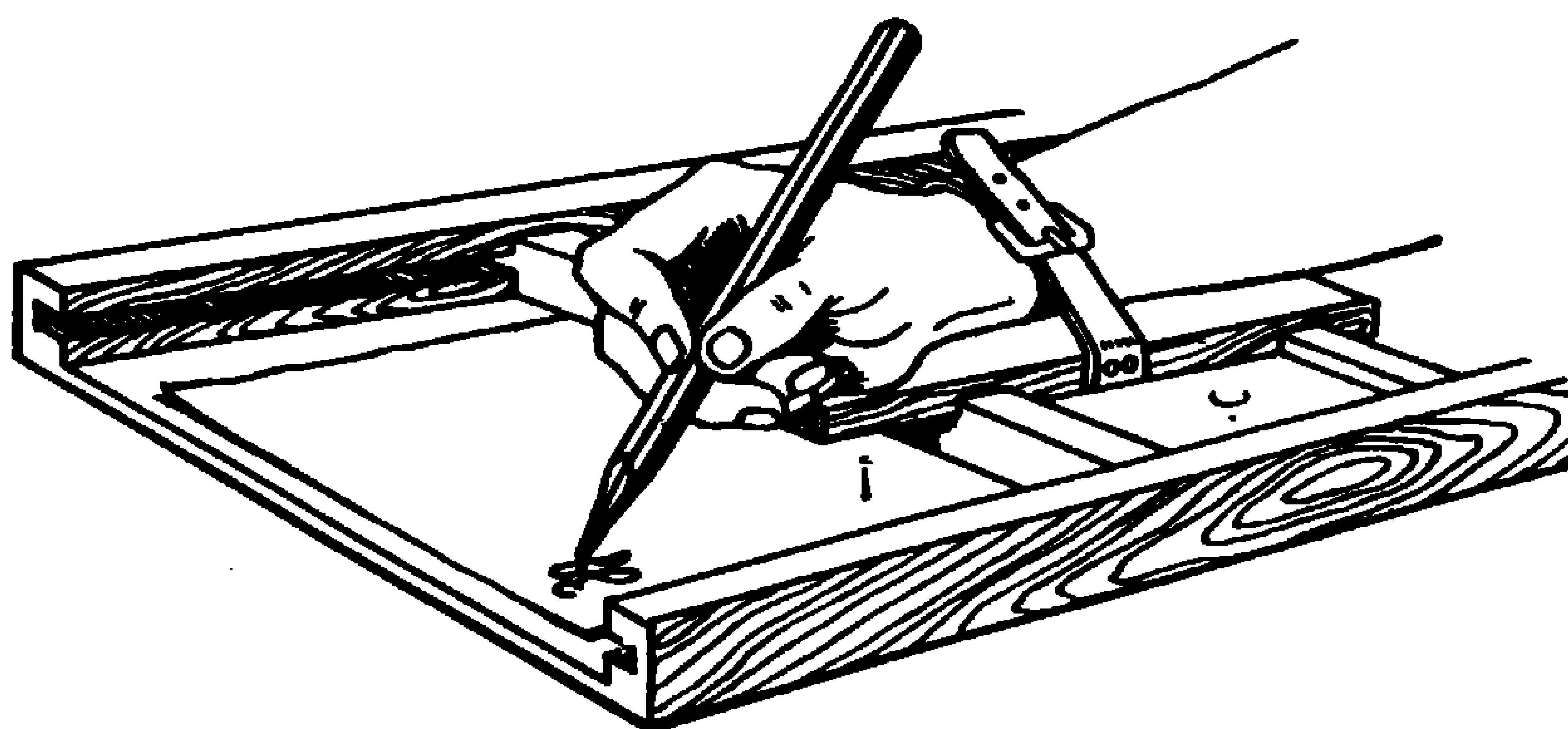
واذا ما تحركت اجسام ما فى اتجاه واحد وبسرعات متساوية ، فانها لا تسبب اية اخطار بالنسبة لبعضها البعض .

وفى عام ١٩٣٥ استطاع سائق القطار بورشوف ان يستفيد بمهارة من حقيقة عدم خطورة تصادم الاجسام المتحركة بسرعة متساوية تقريبا وفى اتجاه واحد ، عندما تتلاحم مع بعضها ، فتمكن بذلك من تلافى كارثة اصطدام قطاره مع قطار متحرك آخر ، يضم ٣٦ عربة . حدث ذلك عندما كان بورشوف يقود قطاره على خط يلنيكوف — اولشانكا جنوبى روسيا . كان يسير امام قطار بورشوف قطار آخر ما لبث ان توقف عن الحركة لعدم كفاية البخار اللازم لتشغيل المحركات ، فما كان من سائق ذلك القطار ، الا ان يتجه بالقاطرة مع بعض العربات الى الامام نحو المحطة ، تاركا العربات الاخرى التى يبلغ عددها ٣٦ ، واقفة على الخط . وبعد قليل اخذت تلك العربات التى لم توضع تحت عجلاتها احذية فرملة ، بالتدحرج الى الوراء بسرعة ١٥ كم/ ساعة ، وهى على وشك الاصطدام بقطار بورشوف . ولما ادرك السائق ذلك بفطنته ، اوقف قطاره فى الحال واخذ يقوده الى الوراء بسرعة تدريجية وصلت الى ١٥ كم/ ساعة . وبفضل هذا التصرف ، استطاع بورشوف ان يجعل الـ ٣٦ عربة ، تلتحم بقطاره دون ادنى ضرر .

واخيرا ، فقد تم انطلاقا من نفس المبدأ ، صنع جهاز يجعل من السهل جدا كتابة الرسائل فى القطار المتحرك . ان كتابة الرسائل فى قطار متحرك صعبة لسبب واحد ،

هو ان الاهتزازات الناتجة من مرور القطار فوق مفاصل السكة الحديدية ، لا تنتقل الى الورقة والى رأس القلم فى وقت واحد . فاذا تمكنا من جعل الاهتزازات تنتقل الى الورقة ورأس القلم فى نفس الوقت ، فسيكونان ساكنين بالنسبة لبعضهما البعض ، وسوف لا تبرز اية صعوبة عند الكتابة فى القطار المتحرك .

ويمكن التوصل الى ذلك ، بفضل الجهاز المبيّن فى الشكل ٢٢ . تربط اليد التى تمسك بالقلم الى لوحة خشبية صغيرة أ ، تنزلق فى شقوب خدّية على اللوحة الخشبية ب ، التى تنزلق بدورها فى الشقوب الخدّية للوحة الكتابة الموضوعة على المنضدة داخل العربة . ان اليد كما نرى خفيفة الحركة ، بما فيه الكفاية لكتابة الحرف تلو الحرف والسطر تلو السطر ؛ والى جانب ذلك ، فان كل اهتزاز يصل الى الورقة الموضوعة على اللوحة ، ينتقل فى نفس اللحظة وبنفس القوة الى اليد التى تمسك بالقلم . وفى هذه الحالة ، تصبح الكتابة فى قطار متحرك ، مريحة كما هى الحال عند الكتابة فى عربة ساكنة ، والشىء الوحيد غير المريح هنا ، هو روْية الورقة بصورة مهتزة ، وذلك لأن الرجات لا تصل الى اليد والرأس فى نفس الوقت .



شكل ٢٢ : جهاز خاص يساعد على الكتابة المريحة فى القطار المتحرك .

على منصّة الميزان

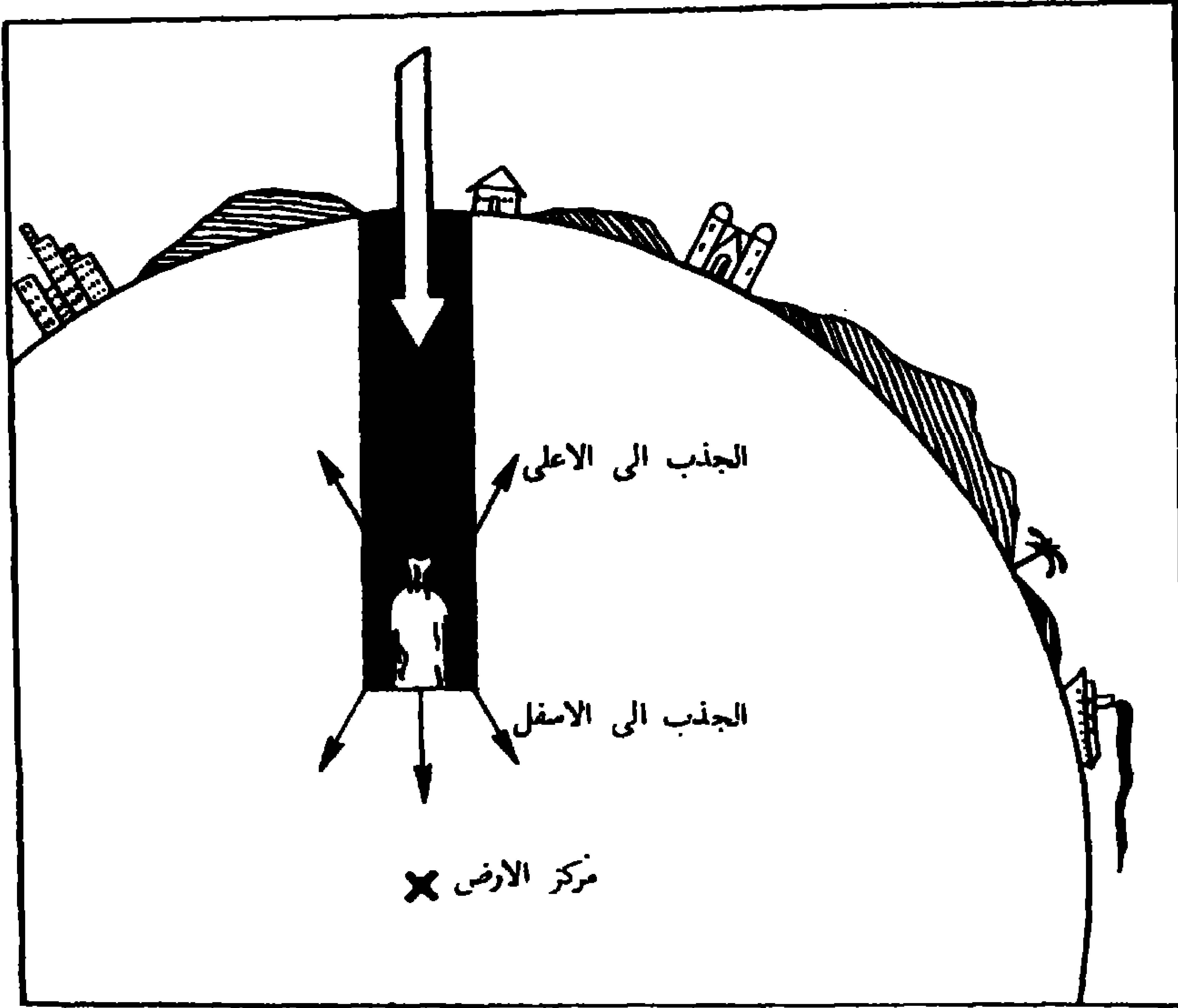
ليس فى استطاعتك ان تجد وزنك الصحيح بالضبط ، الا اذا وقفت على منّصة الميزان دون ان تتحرك البتّة . فاذا انحنيت ، فسيقل وزنك حالما تفعل ذلك . لماذا ؟ لأن العضلات التى تحنى النصف العلوى من الجسم ، تعمل فى نفس الوقت على رفع النصف السفلى من الجسم الى الاعلى ، مقللة بذلك ، الضغط الذى يؤثر به الجسم على القاعدة . وعلى العكس من ذلك ، ففى اللحظة التى ينتصب فيها جسمك ، تعمل العضلات على دفع كلا نصفى الجسم احدهما بعيدا عن الآخر ، وهنا يشير الميزان الى زيادة ملحوظة فى الوزن ، بناء على زيادة ضغط النصف السفلى من الجسم على منصة الميزان .

وهكذا حتى ان رفع اليد ، يجب ان يؤدى الى تذبذب مؤشر الميزان الحساس ، طبقا للزيادة القليلة التى تطرأ على الوزن الظاهرة للجسم . ان العضلات التى ترفع اليد الى الاعلى ، ترتكز على الكتف وبالتالى ، فانها تدفعه مع الجسم الى الاسفل ، وبذلك يزداد الضغط على منصة الميزان . وعندما نتوقف عن رفع اليد ، تتحرك العضلات المقابلة . التى ترفع الكتف الى الاعلى ، محاولة تقريبه من طرف اليد . وبذلك يقل وزن الجسم ، اى يقل الضغط المؤثر على القاعدة .

وعلى العكس من ذلك ، عندما نخفض اليد الى الاسفل ، فاننا نقلل من وزن جسمنا اثناء تلك الحركة ، فنزيده حالما نتوقف عن خفض اليد . وباختصار ، فاننا نستطيع بتأثير القوى الداخلية ، ان نزيد او نقلل من وزننا ، الذى نعنى به الضغط المؤثر على القاعدة .

اين تكون الاشياء اثقل مما هى عليه ؟

ان قوة جذب الارض للاجسام ، تقل كلما ارتفعنا عن سطح الارض . فاذا رفعنا سنجة تزن كيلوجراما واحدا ، الى علو قدره ٦٤٠٠ كم ، اى جعلناها تبتعد عن مركز الكرة الارضية مسافة تساوى ضعف نصف قطرها ، لقلت قوة الجاذبية بمقدار



شكل ٢٣ : لماذا تقل قوة الجاذبية كلما توغلنا فى اعماق الارض ؟

٢٢ ، اى باربع مرات ، ولاشار الميزان الزنبركى الى الرقم ٢٥٠ جم فقط ، بدلا من ١٠٠٠ جم . ان الارض طبقا لقانون الجاذبية ، تجذب الاجسام الاخرى كما لو كانت كتلة الارض برمّتها ، مركزة فى المركز . اما قوة هذا الجذب ، فتتناسب عكسيا مع مربع المسافة . وفى الحالة التى ذكرناها ، تضاعفت المسافة بين السنجة ومركز الارض ، ولهذا السبب قلّت الجاذبية بمقدار ٢ ٢ ، اى باربع مرات . واذا ابعدنا السنجة عن سطح الارض مسافة قدرها ١٢٨٠٠ كم ، اى ثلاثة اضعاف نصف قطر الارض ، لقلّت الجاذبية بمقدار ٣ ٢ ، اى بتسع مرات . عندئذ سيصبح وزن السنجة ١١١ جم فقط ، بدلا من ١٠٠٠ جم .. وهكذا .

ينتج من ذلك بالطبع ، اننا اذا توغلنا بالسنجة فى اعماق الارض ، اى اذا قربناها من مركز الارض . فيجب ان تزداد قوة جذب الارض للسنجة ، اى يجب ان يكون وزن السنجة فى اعماق الارض ، اكثر مما هو عليه فوق سطحها . ان هذا الاستنتاج خاطئ ، اذ ان وزن الجسم لا يزداد بتعمقه فى داخل الارض ، بل على العكس من ذلك ، يقل . وتفسير ذلك فى هذه الحالة ، هو ان القوى التى تتألف منها الجاذبية الارضية ، لا تؤثر هنا على الجسم من جهة واحدة ، بل من جميع الجهات . ولو نظرنا الى الشكل ٢٣ ، لرأينا ان السنجة الموضوعة فى باطن الارض ، تنجذب الى الاسفل بتأثير قوى الجاذبية الموجودة تحت السنجة . ولكنها فى نفس الوقت تنجذب الى الاعلى بتأثير قوى الجاذبية الموجودة فوقها . ويمكننا ان نثبت بان قوى الجاذبية التى تؤثر على الجسم بالفعل ، هى القوى المحصورة داخل كرة ، يساوى نصف قطرها المسافة من مركز الارض الى المكان الذى يوجد فيه الجسم . ولهذا السبب ، فان وزن الجسم يجب ان يقل باطّراد كلما تعمقنا فى باطن الارض . فاذا ما وصلنا الى مركز الارض ، سنرى ان الجسم يفقد وزنه تماما . ويصبح عديم الوزن ، وذلك لان قوى الجاذبية الموجودة فى المركز ، ستؤثر عليه تأثير متساويا من جميع الجهات .

وهكذا ، فان اكبر وزن للجسم : يكون على سطح الارض مباشرة ؛ ويقل ذلك الوزن كلما ابتعد الجسم عن سطح الارض . سواء ارتفع فى الجو ، او نزل الى باطن الارض * .

وكم يزن الجسم اثناء سقوطه ؟

هل احسست بذلك الشعور الغريب ، الذى ينتابك عندما يهبط بك المصعد الى الاسفل ؟ ستشعر بخفة غير طبيعية ، كتلك التى يشعر بها الشخص ، عند سقوطه فى

* يكون هذا حقيقة واقعة ، لو كانت الارض متجانسة الكثافة تماما . ففى الواقع ، تزداد كثافة الارض كلما اقتربنا من المركز ، ولهذا ، فعند النزول الى باطن الارض ، تزداد قوة الجاذبية فى البداية الى مسافة معينة فقط ، حيث تبدأ بعدها بالانخفاض .

هوّة سحيقة بلا قرار . وليس ذلك سوى شعور بانعدام الوزن . فى اللحظة الاولى للحركة ، عندما تبدأ ارضية المصعد التى تقف عليها ، بالهبوط الى الاسفل ، ولم تكن لك بعد تلك السرعة التى يهبط بها المصعد ، وينعدم تقريبا ، الضغط الذى يولده جسمك على ارضية المصعد ، وبالتالى يكون وزنك قليلا جدا . وتمر برهة قصيرة ، لا يلبث بعدها ان يزول ذلك الشعور الغريب ، فعندما يحاول جسمك ان يهبط اسرع من المصعد الذى يهبط بانتظام ، فانه يضغط على ارضية المصعد ، ويستعيد بذلك وزنه التام .

علق سنجة بخطاف ميزان زنبركى ، ولاحظ الى اين يتجه المؤشر ، اذا خفضنا الميزان والسنجة الى الاسفل (للسهولة ضع قطعة من الفلين فى شق الميزان ولاحظ تغيّر وضعيتها) . ستتأكد من ان المؤشر اثناء الحركة ، سوف لا يشير الى الوزن التام للسنجة ، بل الى اقل من ذلك بكثير . فاذا سقط الميزان الى الاسفل بحرية تامة ، واستطعنا اثناء سقوطه ان نتتبع حركة المؤشر ، لرأينا ان السنجة اثناء السقوط ، تكون عديمة الوزن بالمرة ، وان المؤشر يقف عند الصفر .

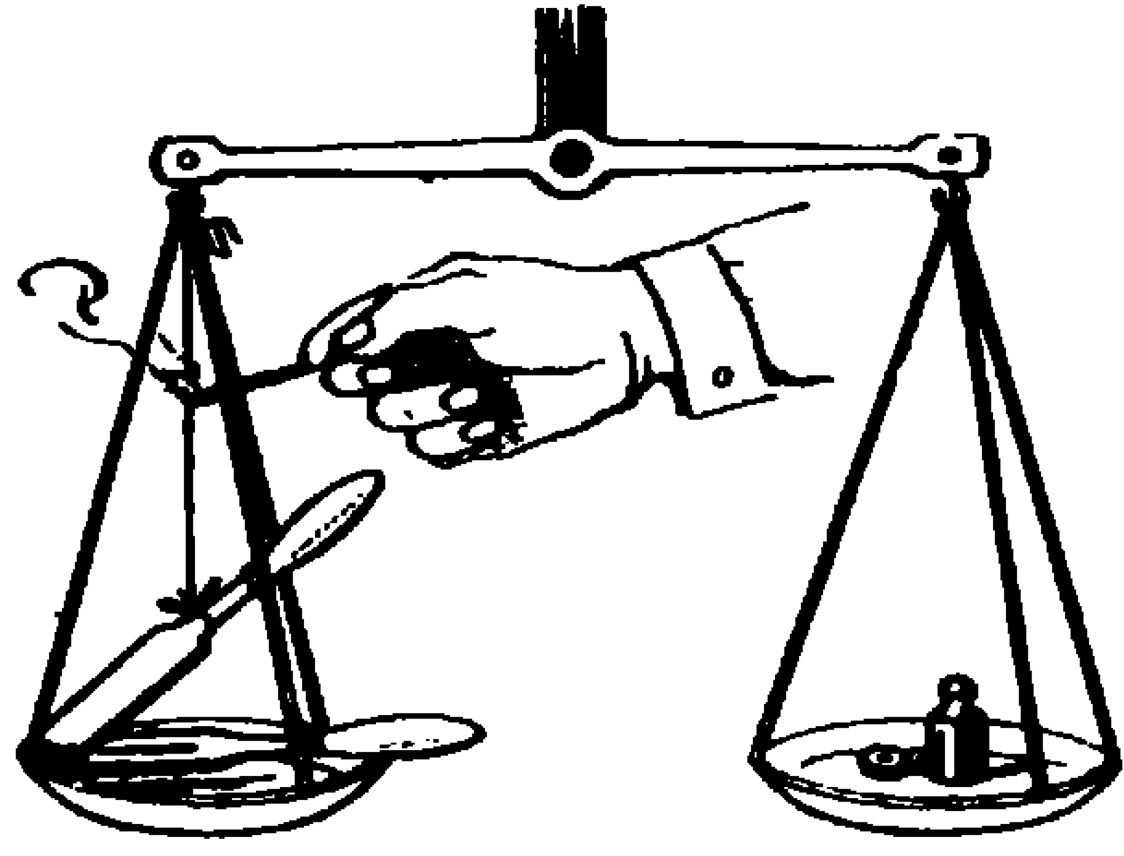
ان الاشياء الثقيلة جدا ، تصبح عديمة الوزن تماما ، طوال الفترة الزمنية ، التى تكون خلالها فى حالة سقوط . ومن السهل جدا تعليل هذه الظاهرة . ان القوة التى يسحب بها الجسم خطاف الميزان ، او يضغط بها على قاعدته ، تسمى بـ « الوزن » . ان الجسم الساقط ، لا يسحب زنبرك الميزان بتاتا ، وذلك لان الزنبرك يسقط هو الآخر مع الجسم . وعندما يكون الجسم فى حالة سقوط ، فانه لا يسحب اى شيء ولا يضغط على اى شيء . وبالتالى ، فان السؤال عن وزن الجسم عندما يكون فى حالة سقوط ، يشبه تماما السؤال عن وزن الجسم عندما يكون عديم الوزن .

وفى القرن السابع عشر ، كتب مؤسس علم الميكانيكا ، العالم الشهير غاليليو ، ما يلى * : « اننا نشعر بالحمل الموضوع على اكتافنا ، عندما نحاول منعه من السقوط . ولكننا اذا تحركنا الى الاسفل بنفس سرعة سقوط الحمل الموضوع على اكتافنا ، فكيف

* فى ابحاثه المسماة « براهين رياضية » والمتعلقة بفرعين من فروع العلم الحديث .

يضغط علينا ويثقل كاهلنا ؟ ان ذلك سيكون تماما ، كما لو اردنا ان نصيب برمحنا * شخصا ما يركض امامنا بنفس السرعة التى نلاحقه بها نحن » .

ان التجربة البسيطة التالية ، تؤكد بوضوح ، حقيقة هذه المناقشات .



شكل ٢٤ : تجربة توضح بان الجسم الساقط عديم الوزن .

نضع كسّارة بندق فى احدى كفتى ميزان تجارى ، بحيث يستقر احد مرفقى الكسارة على كفة الميزان ، ونربط المرفق الآخر بخيط معلق فى خطاف ذراع الميزان كما هو مبيّن فى الشكل ٢٤ . نضع سنجات فى كفة الميزان الاخرى الى ان تتوازن الكفتان . نقرّب من الخيط عود ثقاب مشتعل ، فيحترق الخيط ويسقط المرفق العلوى لكسارة البندق فى كفة الميزان .

ماذا يحدث للميزان فى هذه اللحظة ؟ هل تنخفض كفة الميزان التى تحمل كسارة البندق فى الفترة التى يستمر فيها سقوط المرفق العلوى للكسارة ، وهل ترتفع تلك الكفة ام تبقى متوازنة ؟

الآن وبعد ان علمنا ان الاجسام الساقطة عديمة الوزن ، نستطيع سلفا ، الاجابة على هذا السؤال بصورة صحيحة : يجب ان ترتفع كفة الميزان لبرهة قصيرة الى الاعلى . وفى الحقيقة ، فان المرفق العلوى لكسارة البندق ، بالرغم من اتصاله بالمرفق السفلى ، يولّد عند سقوطه ، ضغطا على كفة الميزان ، اقل من الضغط الذى يولده عليها عندما يكون ساكنا . ان وزن كسارة البندق يقل لبرهة قصيرة ، وفى تلك الاثناء بالطبع ، ترتفع كفة الميزان الى الاعلى .

---

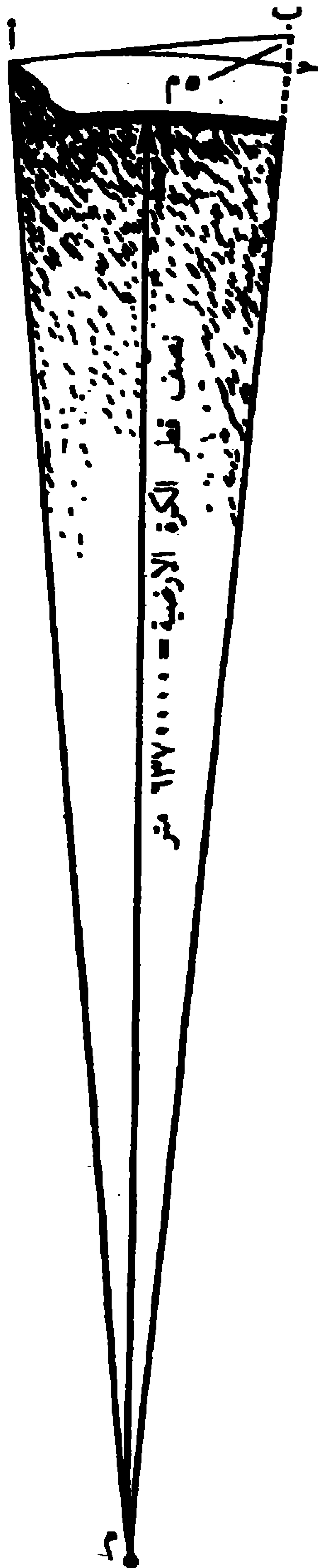
* دون ان نرمى الرمح من يدنا .

من المدفع ... الى القمر !

فى الفترة الواقعة بين عامى ١٨٦٥ و ١٨٧٠ ، صدرت فى فرنسا رواية جول فيرن الخيالية « من المدفع الى القمر » التى احتوت على فكرة غريبة ، وهى ان تطلق من فوهة المدفع الى القمر ، قذيفة ضخمة على هيئة عربة مملوءة بركاب ! لقد طرح جول فيرن فكرته هذه ، بصورة قريبة من الحقيقة ، بحيث بدت على وجوه معظم القراء بلا ريب ، علائم استفهام : الا يمكن فى الواقع تحقيق هذه الفكرة ؟ ان الحديث عن ذلك ممتع جدا * .

اولا ، لنبحث عما اذا كان يمكن — ولو نظريا — ان نطلق من المدفع ، قذيفة ما ، بحيث لا تعود مرة ثانية الى الارض بتاتا . ان هذا الامر ممكن من الناحية النظرية . والان ، ما هوالسبب الذى يجعل القذيفة المنطلقة افقيا من فوهة المدفع ، تسقط فى النهاية على الارض ؟ ان السبب هو ان الارض بجذبها للقذيفة ، تغيّر مسارها — اى مسار القذيفة — من خط مستقيم الى خط منحن يتجه نحو الارض ، ولا بد له ان يلتقى بها بعد مدة طالت ام قصرت . وفى الواقع ، فان سطح الارض منحن ايضا ، ولكن مسار القذيفة اكثر انحناء بكثير من سطح الارض . فاذا قللنا من انحناء مسار القذيفة ، وجعلناه مماثلا لانحناء سطح الكرة الارضية ، فان مثل هذه القذيفة لن تسقط على الارض مطلقا . وبدلا من ذلك ، فان القذيفة سوف تتحرك على مدار متحد المركز مع محيط الكرة الارضية . وبعبارة اخرى ، تصبح القذيفة بمثابة تابع ارضى ، كما لو كانت قمرا صغيرا ثانيا .

* اما الآن ، وبعد اطلاق الاقمار الصناعية والصواريخ الكونية الاولى ، نستطيع القول بان الصواريخ لا القذائف ، هى التى ستستخدم فى الرحلات الفضائية . ولكن حركة الصاروخ بعد انتهاء مرحلته الاخيرة ، تخضع لنفس القوانين التى تخضع لها حركة قذيفة المدفع ، لذلك فان الموضوع الذى يبحثه المؤلف هنا ، لا يزال محتفظا بحيويته — المحرر .



شكل ٢٥ : حساب سرعة القذيفة ، التى يجب ان تخرج عن نطاق الكرة الارضية بصورة نهائية .

ولكن كيف نتوصل الى جعل القذيفة المنطلقة من المدفع تتخذ مسارا ، اقل انحناء من سطح الكرة الارضية؟ لكى نتوصل الى ذلك، من الضرورى فقط ، اعطاء القذيفة السرعة الكافية . لاحظ الشكل ٢٥ ، الذى يبين مقطعا عرضيا لجزء من الارض . وهناك على قمة الجبل ، وضع مدفع فى النقطة أ . ان القذيفة التى تطلق افقيا من ذلك المدفع ، يمكن ان تصل الى النقطة ب فى ثانية واحدة، فى حالة انعدام الجاذبية الارضية . ولكن وجود الجاذبية الارضية يغيّر الامر . فبتأثير هذه القوة ، لا تصل القذيفة الى النقطة ب خلال ثانية واحدة ، بل تصل الى النقطة جـ ، التى تقع تحت النقطة ب بمسافة ٥ م . ان هذه الامتار الخمسة ، هى المسافة التى يقطعها (فى الفراغ) كل جسم ساقط بحرية، فى الثانية الاولى بسبب تأثير الجاذبية الارضية القريبة من سطح الارض . فاذا ظهر ان ارتفاع القذيفة عن سطح الارض ، بعد هبوطها بمقدار ٥ م ، هو نفس الارتفاع الذى كانت عليه عند وجودها فى النقطة أ ، فهذا يعنى ان القذيفة تتحرك على مدار متحد المركز مع محيط الكرة الارضية .

بقى علينا ان نحسب المسافة أ ب (شكل ٢٥)، اى المسافة التى قطعتها القذيفة خلال ثانية واحدة ، فى الاتجاه الافقى . عندئذ سنعرف السرعة المطلوبة لاطلاق القذيفة

من فوهة المدفع . ومن السهل حساب ذلك من المثلث أم ب ، الذى يكون فيه م أ — نصف قطر الكرة الارضية (ويساوى حوالى ٦٣٧٠٠٠٠ م) ؛ م جـ = م أ ؛ والمسافة ب جـ = ٥ م . اذن م ب = ٦٣٧٠٠٠٥ م ؟

وبتطبيق نظرية فيثاغورس ، نجد ان :

(أب)٢ = (٦٣٧٠٠٠٥)٢ — (٦٣٧٠٠٠٠)٢

وبحل هذه المعادلة ، ينتج ان أب يساوى ٨ كم تقريبا .

وهكذا ، فلو انعدم وجود الهواء الذى يعرقل كثيرا الحركة السريعة ، لوجدنا ان القذيفة المنطلقة افقيا من فوهة المدفع بسرعة ٨ كم/ثانية ، لن تسقط على الارض ابدا ، بل تدور حول الارض بصورة ازلية ، كما يدور القمر الاصطناعى .

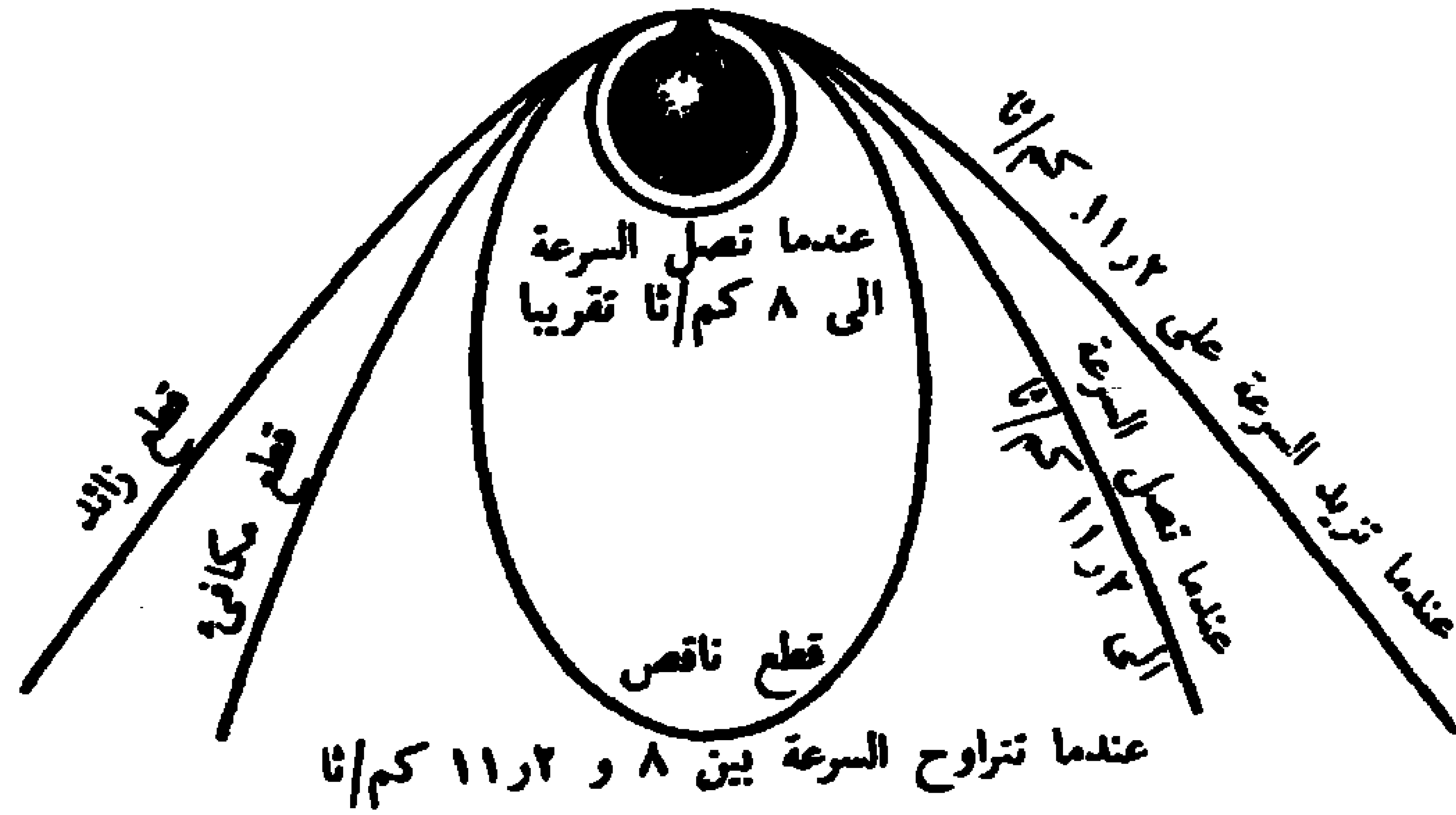
والآن ، اذا اطلقنا القذيفة من المدفع ، بسرعة اكبر من تلك السرعة المذكورة ، فالى اين تنطلق ؟ لقد برهن العاملون فى حقل ميكانيكا الاجواء العليا ، ان اطلاق القذيفة من فوهة المدفع بسرعة قدرها ٨،٩ كم/ ثانية او حتى ١٠ كم/ ثانية ، يجعلها تأخذ مدارا اهليلجيا حول الارض ؛ تزداد استطالته كلما ازدادت السرعة الابتدائية للقذيفة . اما عندما تصل سرعة القذيفة الى ١١ر٢ كم/ ثانية ، فانها لا تتخذ لنفسها مدارا اهليلجيا ، بل تتخذ مدارا غير مقفل — قطع مكافئ ، وبذلك تبتعد عن الارض بصورة نهائية (شكل ٢٦) .

وهكذا نرى ان فكرة التحليق الى القمر داخل قذيفة منطلقة بسرعة كبيرة كافية * ، هى فكرة صحيحة من الناحية النظرية .

(ان الجو المذكور فى المناقشة السابقة ، هو الجو الذى لا يعرقل حركة القذيفة . اما فى الظروف الواقعية ، فان وجود الجو المقاوم للحركة ، يعرقل كثيرا ، محاولة الوصول الى سرع كبيرة ، وربما يجعل من المستحيل تحقيقها)

---

* ولكن قد تنشأ هنا صعوبات خاصة جدا . ان هذه المسألة مبحوثة بصورة مفصلة فى الكتاب الثانى من « الفيزياء المسلية » ، وكذلك فى كتاب آخر للمؤلف عنوانه « رحلة بين الكواكب » .



شكل ٢٦ : مسارات قذيفة المدفع ، المنطلقة بسرعة ابتدائية تبلغ ٨ كم/ثا واكثر .

كيف وصف جول فيرن الرحلة الى القمر وكيف كان يجب ان تتم !

ان كل من قرأ رواية جول فيرن « من المدفع الى القمر » لا بد وان يتذكر تلك اللحظة الممتعة من الرحلة ، التى مرت فيها القذيفة بالنقطة التى تتساوى عندها الجاذبية الارضية مع جاذبية القمر . لقد حدث فى الحقيقة شىء لا يصدق : ان جميع الاشياء التى كانت داخل القذيفة ، فقدت وزنها . اما المسافرون انفسهم ، فقد اصبحوا معلقين فى الهواء دون ان يستندوا الى اى شىء .

ان هذا الوصف صحيح تماما ، ولكن غاب عن ذهن جول فيرن ان نفس الشىء كان يجب ان يحدث ايضا ، قبل وبعد المرور بنقطة الجاذبية المتعادلة . ومن السهل ان نبين ان المسافرين وكافة الاشياء الموجودة داخل القذيفة ، لا بد وان تصبح عديمة الوزن من اللحظة الاولى لبداية الطيران الطليق .

يبدو ان هذا الامر مستحيل ، ولكنى واثق من ان القارئ سيتعجب الآن ، لانه بالذات ، لم ينتبه سابقا الى تلك الهفوة الكبيرة .

لنأخذ مثالا من رواية جول فيرن . لا شك ان القارئ لم ينس كيف رمى المسافرون جثة الكلب خارج القذيفة ، وكيف تملكتهم الدهشة عندما لاحظوا ان الجثة لم تسقط

على الارض مطلقا ، بل استمرت فى الاندفاع الى الامام مع القذيفة . لقد وصف جول فيرن هذه الظاهرة وصفا صحيحا وفسرها على حقيقتها . وبالفعل ، ففى الفراغ كما هو معروف ، تسقط جميع الاجسام بسرعة واحدة : لان الجاذبية الارضية تعطى جميع الاجسام تسارعا (تعجيلا) متساويا . وفى الحالة المذكورة ، كان لا بد للقذيفة ولجثة الكلب ، من ان تكتسبا بتأثير الجاذبية الارضية ، سرعة سقوط واحدة (تسارعا واحد) . وبتعبير ادق ، كان لا بد للسرعة التى اكتسبتاها عند الانطلاق من المدفع ، ان تقل بالتساوى تحت تأثير الجاذبية الارضية . ينتج من ذلك ، ان سرعتى القذيفة وجثة الكلب يجب ان تكونا متساويتين دائما فى كافة نقاط الطريق . ولذلك ، فان جثة الكلب المرمية خارج القذيفة استمرت فى اللحاق بالقذيفة دون ان تتخلف عنها بشىء .

ولكن الشىء الذى لم يفكر فيه جول فيرن هو : اذا لم تسقط جثة الكلب الى الارض عند وجودها خارج القذيفة ، فلماذا تسقط عند وجودها داخل القذيفة ؟ مع ان نفس القوى بالذات تؤثر فى كلتا الحالتين ! ان جسم الكلب المعلق بحرية فى الفراغ الموجود داخل القذيفة ، يجب ان يبقى على تلك الحالة : اذ ان سرعته مساوية تماما لسرعة القذيفة ، وهذا يعنى ان الجسم يبقى فى حالة سكون بالنسبة للقذيفة .

والقوانين التى خضعت لها جثة الكلب ، هى نفس القوانين التى تخضع لها اجسام المسافرين وجميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة بصورة عامة . اى تكون لها نفس سرعة القذيفة بالذات فى كافة نقاط الطريق . وبالتالى ، فلا يجب ان تسقط حتى لو بقيت بدون مسند . فالكرسى الموضوع على ارضية القذيفة المنطلقة ، يمكن وضعه بصورة معكوسة عند سقف القذيفة دون ان يسقط الى الاسفل ، ذلك لانه سوف يستمر فى اللحاق بالسقف جنبا الى جنب . وبامكان المسافر الجلوس على هذا الكرسى ورأسه الى اسفل والبقاء على تلك الحالة دون ان يتعرض بتاتا للسقوط على ارضية القذيفة . فما هى القوة التى تستطيع ان تجبره على السقوط ؟ اذ لو سقط المسافر ، اى لو اقترب من الارضية ، لكان معنى ذلك فى الحقيقة ، ان القذيفة تنطلق فى الفضاء بسرعة اكبر من سرعة المسافر (ولو لا ذلك لما اقترب الكرسى من ارضية القذيفة) . وبالمناسبة ،

فان هذا الشيء مستحيل : فنحن نعلم ان لجميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة تسارعا مساويا لتسارع القذيفة بالذات .

ان جول فيرن لم ينتبه الى ذلك : فقد تصور ان الاشياء الموجودة داخل القذيفة المنطلقة في الفضاء ، سوف تستمر بالضغط على قواعدها (مرتكزاتها) كما كانت عليه الحال عندما كانت القذيفة ساكنة . وغاب عن دهن جول فيرن كذلك ان الجسم يضغط بثقله على القاعدة ، لسبب واحد ، هو ان القاعدة اما ان تكون ساكنة ، ام انها تتحرك بانتظام . فاذا كان الجسم والقاعدة يتحركان في الفضاء بتسارع واحد فلا يمكن ان يضغط احدهما على الآخر (اذا كان سبب التسارع قوة خارجية ، مثلا مجال الجاذبية الارضية . لا اشتغال محرك الصاروخ) .

وهكذا ، فمنذ اللحظة التي توقف عندها تأثير الغازات النفاثة على القذيفة * ، اصبح المسافرون عديمي الوزن ، وكان في استطاعتهم التحليق بحرية في الهواء الموجود داخل القذيفة . وكذلك بالضبط كان من المحتم ان تصبح جميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة ، عديمة الوزن تماما . وبهذه الدلالة ، استطاع المسافرون ان يتبينوا بسهولة ، هل هم منطلقون في الفضاء ام لا زالوا موجودين في داخل المدفع . وبهذه المناسبة ، يحدثنا جول فيرن كيف ان المسافرين لم يدركوا في اول نصف ساعة من الرحلة الفضائية عما اذا كانوا يطيرون حقا ام لا ؟ فيدور بينهم الحوار التالي :

— نيقولا ، هل اننا نتحرك ؟

كان اردان ونيقولا ينظران الى بعضهما البعض ، فهما لم يشعرا بحركة القذيفة .

وهنا كرّر اردان السؤال :

— حقّا ! هل نحن نتحرك ؟

ثم استطرد نيقولا متسائلا :

— ام اننا لا نزال على ارض فلوريدا ؟

* اى عند بدء انطلاق القذيفة بالدفع الذاتي — المعرب .

واكمل ميشيل السؤال بقوله :

ـ او على قاع خليج المكسيك ؟

ان هذه الشكوك قد تدور فى اذهان المسافرين على ظهر احدى البواخر . اما ان تدور فى اذهان المسافرين داخل قذيفة محلقة فى الفضاء ، فهو امر لا يمكن تصوره : ان المسافرين على ظهر الباخرة يحتفظون باوزانهم ، اما المسافرون داخل قذيفة فضائية ، فلا بد ان يلاحظوا انهم قد فقدوا وزنهم تماما .

ويجب اعتبار هذه القذيفة الخيالية بمثابة ظاهرة غريبة ! عالم صغير جدا ، تكون فيه الاجسام عديمة الوزن ، واذا رميت فانها تبقى معلقة فى محلها بسكون ، وتحافظ فيه الاشياء على توازنها فى جميع الاوضاع ، ولا ينسكب الماء من قنينة زجاجية مائلة ...

لقد غاب كل ذلك عن ذهن مؤلف « رحلة الى القمر » ، بينما كان باستطاعته لو انتبه الى هذه الامكانيات المدهشة ، ان يطلق العنان لتخيلاته .

ان اول من طاف فى ذلك العالم المدهش .. عالم انعدام الوزن ، هم رجال الفضاء السوفييت . وقد استطاع ملايين الناس ، الذين تتبعوا تحليق رجال الفضاء السوفييت على شاشة التلفزيون ، ان يروا كيف تتعلق الاشياء المرمية من اليد فى الهواء ، وكيف حام رجال الفضاء انفسهم فى داخل قمراتهم ، بل وحلقوا مع سفينة الفضاء جنبا الى جنب .

وزن مضبوط على موازين غير مضبوطة

ما هو الشيء الاهم بالنسبة لعملية الوزن الصحيحة : الميزان ام السنجة ؟ يكون القارئ مخطئا اذا فكر بانهما على درجة واحدة من الاهمية ، اذ يمكن ان نحصل على وزن مضبوط دون ان يكون لدينا ميزان مضبوط ، عندما تكون لدينا سنجة مضبوطة . وهناك عدة طرق للحصول على الوزن المضبوط من ميزان غير مضبوط . ولنبحث طريقتين من تلك الطرق :

نبدأ بالطريقة الاولى التى اقترحها الكيميائى الروسى العظيم دمترى مندليييف . نبدأ الوزن بوضع ثقل ما من اى نوع كان فى احدى كفتى الميزان ، على شرط ان يكون

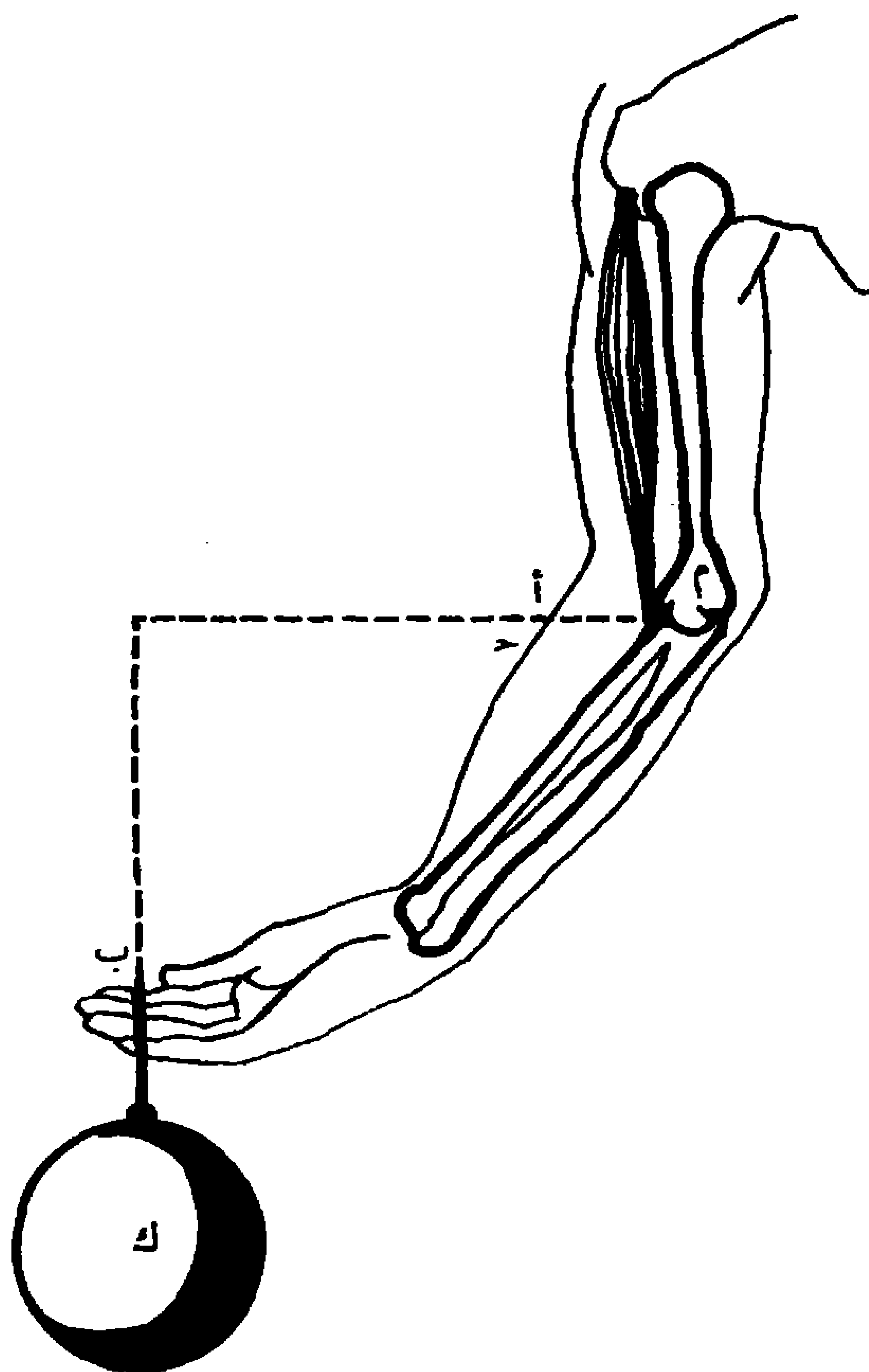
اثقل من الجسم المراد وزنه . نعادل هذا الثقل بعيارات توضع فى الكفة الثانية للميزان . وبعد ذلك يوضع الجسم المراد وزنه فى الكفة المحتوية على العيارات ، ونرفع منها العيارات الزائدة الى ان يعود التوازن المفقود الى كفتي الميزان . وكما يبدو ، فان وزن العيارات المرفوعة يساوى وزن الجسم : لاننا استعضنا عن تلك العيارات بوزن الجسم الموضوع فى نفس الكفة بالذات ، الامر الذى يعنى ان وزن الجسم يساوى وزن العيارات المرفوعة . ان هذه الطريقة تسمى بـ « طريقة الحمل الثابت » وهى مريحة خاصة عند القيام بوزن عدة اجسام ، الواحد تلو الآخر . اذ يبقى الحمل الابتدائى ليستخدم فى كافة عمليات الوزن .

والطريقة الاخرى التى سميت باسم العالم الذى اقترحها وهى « طريقة بورد » ، تجرى كما يلى : نضع الجسم المراد وزنه فى احدى كفتى الميزان ، ونضع فى الكفة الثانية رملا او خردقا الى ان تتوازن الكفتان . ثم نرفع الجسم المراد وزنه من كفة الميزان (مع عدم التعرض للرمل) ، ونضع فيها عيارات الى ان تعود الكفتان الى توازنهما السابق . ومن الواضح الآن ، ان وزن العيارات يساوى وزن الجسم الذى استبدل بها . ومن هنا اتت التسمية الاخرى لهذه الطريقة وهى « الوزن بالاستبدال » . وهذه الطريقة البسيطة تستخدم ايضا بالنسبة للميزان الزنبركى الذى يحتوى على كفة واحدة فقط ، اذا كانت لدينا بالاضافة الى ذلك ، عيارات مضبوطة . وفى هذه الحالة لن نحتاج الى الرمل او الخردق . نضع الجسم المراد وزنه فى كفة الميزان ونلاحظ العلامة التى يقف عندها المؤشر . ثم نرفع ذلك الجسم ونضع محله العيارات اللازمة لاعادة المؤشر الى نفس العلامة التى وقف عندها فى المرة الاولى . ان وزن العيارات ، كما يتضح ، يجب ان يساوى وزن الجسم الذى استبدل بها .

انك اقوى مما تعتقد !

ما هو مقدار الثقل الذى تستطيع ان ترفعه بيدك ؟ لنفرض انه يساوى ١٠ كجم . هل تعتقد ان هذه الكيلوجرامات العشرة ، تحدد قوة عضلات يدك ؟ لا ابدا . ان العضلات

اقوى من ذلك بكثير ! تتبع على سبيل المثال ، عمل عُضلة يدك المسماة بالعضلة ذات الرأسين (شكل ٢٧) . وهذه العضلة مثبتة بالقرب من نقطة ارتكاز العتلة، الممثلة هنا بعظم الساعد. اما الثقل فيؤثر فى الطرف الثانى لهذه العتلة الحية . والمسافة من الثقل الى نقطة الارتكاز ، اى الى المفصل ، اكبر من المسافة بين نهاية العضلة ونقطة الارتكاز بثمانى مرات تقريبا . وهذا يعنى انه اذا كان مقدار الثقل ١٠ كجم ، فان العضلة تشدّه بقوة تزيد على ذلك بثمانى مرات . ولما كانت القوة الناشئة فى العضلة تزيد على قوة اليد بثمانى مرات، فان باستطاعة العضلة رفع ٨٠ كجم لا ١٠ كجم . ونكون على حق اذا قلنا دون مبالغة ، بان كل انسان فى الوجود ، هو اقوى كثيرا مما يعتقد ، اى ان القوة الناشئة فى عضلاتنا ، هى اكبر بكثيرٍ من القوة التى نبديها عند القيام باعمالنا .



شكل ٢٧ : ان ساعد الانسان جـ ، هو عبارة عن عتلة حية . والقوة هنا تؤثر فى النقطة أ ، ويقع مرتكز العتلة فى نقطة المفصل م ؛ اما الثقل ك فيرفع من النقطة ب . ان المسافة (ب م) اكبر من المسافة (أم) بثمانى مرات تقريبا (ان هذا الشكل مأخوذ من كتاب قديم عنوانه – حركات الحيوانات – قام بتأليفه العالم الفسيولوجى بوريللى فى القرن السابع عشر . وكان هذا العالم هو اول من ادخل قوانين الميكانيكا على علم الفسيولوجيا) .

هل ان هذا التكوين ملائم للغرض ؟ يبدو لاول وهلة وكأنه غير ملائم للغرض لان في ذلك خسارة في القوة، لا يعوض عنها اى شي . ولكن لنتذكر « القاعدة الذهبية » القديمة في علم الميكانيكا وهي : ان كل خسارة في القوة هي ربح في الحركة . وهنا نحصل على ربح في الحركة ، لان ايدينا تتحرك اسرع من العضلات بثماني مرات . ان طريقة تثبيت العضلات ، التي نراها في جسم الاحياء ، تساعد الأطراف على الاسراع من حركتها التي تكون اكثر اهمية من القوة ، فيما يتعلق بتنازع البقاء . واذا لم تكن ايدينا وارجلنا مكونة بهذا الشكل ، لكنا مخلوقات بطيئة الحركة الى درجة كبيرة .

لماذا تكون الاجسام المسننة (الحادة) وخازة ؟

هل فكر القارئ في السؤال التالي : لماذا تخترق الابرة الجسم بسهولة ؟ ولماذا يمكن بسهولة غرز ابرة رفيعة في قطعة من الورق المقوى او القماش ، ويصعب غرز مسمار مثلّم ؟ مع العلم ان القوة المؤثرة في كلتا الحالتين هي قوة واحدة !

ان القوة واحدة . اما الضغط فهو مختلف . ففي الحالة الاولى تركزت القوة باجمعها على سنان الابرة ، اما في الحالة الثانية فقد توزعت القوة نفسها على مساحة اكبر ، هي مساحة طرف (رأس) المسمار ؛ وبالتالي يكون ضغط الابرة ، اكبر كثيرا من ضغط المسمار المثّلم ، عندما نسلط عليهما قوة واحدة .

ويؤكد الجميع بان المسلفة ذات العشرين سنا تخترق التربة بعمق اكبر من العمق الذي تصله المسلفة ذات الستين سنّا . فما السبب في ذلك ؟ ان السبب هو ان الحمل المسلط على كل سن في الحالة الاولى ، اكبر مما هو عليه في الحالة الثانية .

وعندما نتحدث عن الضغط ، يجب دائما ، بالاضافة الى القوة ، ان نأخذ في الاعتبار كذلك ، المساحة التي تؤثر عليها تلك القوة . واذا قيل لنا ان فلانا يتقاضى اجرة قدرها ١٠٠ روبل ، فان هذا القول لا يكون كافيا لكي نعرف هل هذا كثير ام قليل ، الا اذا عرفنا ان هذا المبلغ ، هو اجرته الاسبوعية او الشهرية . وهكذا بالضبط ،

فان تأثير القوة يعتمد على المساحة التي تتوزع عليها ، هل تتوزع على ١ سم ٢ ام تتوزع على ٠١ر٠ مم ٢ .

وباستطاعة الانسان ان يتزلج على الثلج الهش بواسطة زحلوفة . اما بدونها ، فان قدميه تغوطان في الثلج . ما هو السبب ؟ ان السبب هو ان ضغط الجسم في الحالة الاولى يتوزع على سطح اكبر كثيرا مما هو عليه في الحالة الثانية . واذا كان سطح الزحلوفة ، مثلا ، اكبر من سطح قدمينا بعشرين مرة ، فاننا نضغط بالزحلوفة على الثلج ، بقوة تقل بعشرين مرة ، عن القوة التي نولدها عندما نضغط باقدامنا على الثلج . والثلج الهش يتحمل الضغط في الحالة الاولى ، ولا يتحمله في الحالة الثانية .

ولنفس السبب بالذات ، تشد الى حوافر الخيول التي تعمل في المستنقعات ، اخفاف خاصة لزيادة مساحة ارتكاز القوائم ، وبذلك يقل الضغط المسلط على تربة المستنقع . وبالتالي ، فان قوائم الخيول عندئذ لا تغوط في تربة المستنقع . وبهذه الطريقة بالذات ، يتصرف بعض الناس الذين يعيشون في اماكن تكثر فيها المستنقعات .

ويتحرك الناس زحفا على القشرة الجليدية الرقيقة ، لكي يوزعوا اثقال اجسامهم على مساحة اكبر .

واخيرا ، فان الخاصية المميزة للدبابات والعربات المجنزرة ، وهي عدم غوطها في التربة الرخوة على الرغم من وزنها الثقيل جدا ، تفسّر ايضا بتوزيع الوزن على سطح ارتكاز كبير .

ان العربة المجنزرة التي تزن ٨ اطنان واكثر ، تضغط على كل ١ سم ٢ من التربة بقوة لا تزيد على ٦٠٠ جم . ومن وجهة النظر هذه ، فان سيارة الشحن المجنزرة ، التي تعبر المستنقعات تحظى بالاهتمام . ان سيارة الشحن هذه ، التي تحمل طنّين من الاحمال ، تضغط على التربة بقوة لا تتجاوز ١٦٠ جم/ سم ٢ . وبفضل ذلك ، فانها تسير بصورة جيدة في المستنقعات الخثية ، وفي الاماكن الموحلة او الرملية .

وفي هذه الحالة ، تصبح مساحة الارتكاز الكبيرة ، مفيدة ايضا من الناحية التكنيكية ، مثل المساحة الصغيرة في حالة الابرة .

ويتضح مما قيل ، ان الرأس الحاد يوخز ، بفضل المساحة الصغيرة ، التي يتوزع عليها تأثير القوة . ولنفس السبب بالذات ، فان السكين الحادة تقطع احسن من السكين المثلمة اذ تتركز القوة على مساحة صغيرة .

وهكذا ، فان الاجسام الحادة (المسننة) ، تكون جيدة الوخز او القطع ، لان ضغطا كبيرا يتركز على رأسها ونصالها .

متى يكون السرير الحجرى مريحا ؟

لماذا يكون الجلوس على كرسى خشبى بلا مسند ، غير مريح ، بينما يكون الجلوس على الكرسى الخشبى العادى مريحا ؟ لماذا يكون الاستلقاء فى ارجوحة شبكية من الحبال الخشنة ، مريحا ؟ لماذا تشعر بالراحة عند التمدد على الشبكة السلكية التى تجهز بها الاسرّة عوضا عن الحشايا الزنبركية ؟

ليس من الصعب الاجابة على هذه الاسئلة . ان مقعدة الكرسى الخالى من المسند مستوية ، وعندما نجلس عليها ، فاننا نضغط بثقل الجسم كلّه ، على مساحة صغيرة منها فقط . اما مقعدة الكرسى العادى فهى مقعرة وعند جلوسنا عليها نضغط على مساحة كبيرة منها ، يتوزع عليها ثقل الجسم ؛ وبذلك يقل الثقل والضغط المسلّطين على وحدة السطح .

وهكذا ، فكل ما فى الامر هنا ، هو توزيع الضغط بصورة اكثر انتظاما . وعندما ننعم بالاستلقاء على سرير وثير ، تتكون فيه تجاويف مطابقة للاجزاء البارزة من جسمنا . ويوزع الضغط هنا ، على السطح السفلى للجسم بصورة منتظمة الى حد كاف ، بحيث لا تزيد القوة المسلطة على السنتمتر المربع الواحد ، على عدة جرامات فقط . وليس هناك ما يدعو الى العجب ، اذا شعرنا بالراحة فى هذه الحالة .

ويمكن بسهولة ، التعبير عن هذا الاختلاف بالارقام . ان مساحة جسم الانسان البالغ ، تساوى حوالى ٢ م ^{٢} ، او ٢٠٠٠٠ سم ^{٢} . لنفرض انه باستلقائنا على السرير ،

تكون ربع مساحة جسمنا باجمعه مستندة اليه ، اى ٥ر٠ م٢ او ٥٠٠٠ سم٢ . ويبلغ الوزن الكلى لجسمنا (فى المعدل) حوالى ٦٠ كجم ، او ٦٠٠٠٠ جم . اى يؤثر على كل سنتمتر مربع ١٢ جم فقط . وعندما نستلقى على الواح غير مفروشة ، فاننا نستند اليها باقسام صغيرة من جسمنا ، تبلغ مساحتها الكلية حوالى ١٠٠ سم ٢ لا غير . وبالتالى ، يكون الضغط المؤثر على كل سنتمتر مربع ، مساويا لنصف كيلوجرام ، لا لعدة عشرات من الجرامات . ان الفرق واضح ، ونحن نشعر بتأثيره على جسمنا عندما نقول « ان المكان غير مريح بتاتا » .

ولكن اكثر المضاجع خشونة ، قد لا تكون بالنسبة لنا خشنة بالمرة ، اذا كان الضغط موزعا بانتظام على مساحة كبيرة . تصوّر انك استلقيت على طين ليّن ، وطبعت فيه شكل جسمك . وبعد نهوضك عن الطين ، دعه يجف (عندما يجف الطين فانه ينكمش بمقدار يتراوح بين ٥ و١٠٪ ، ولنفرض ان ذلك لن يحدث) . وبعد ان يتصلّب الطين ويصبح كالحجر ، محافظا على الاثر الذى تركه فيه جسمك ، حاول ان تستلقى فوقه مرة ثانية لتملأ بجسمك ذلك القالب الحجرى . اذا فعلت ذلك ، ستشعر وكأنك تستلقى على سرير من الريش الناعم ، وسوف لن تحسّ باية خشونة على الرغم من كونك مستلق على الحجر بالذات . ان سبب عدم شعورنا بخشونة المضجع ، يرجع فى هذه الحالة الى توزيع وزن الجسم على مساحة ارتكاز كبيرة جدا .

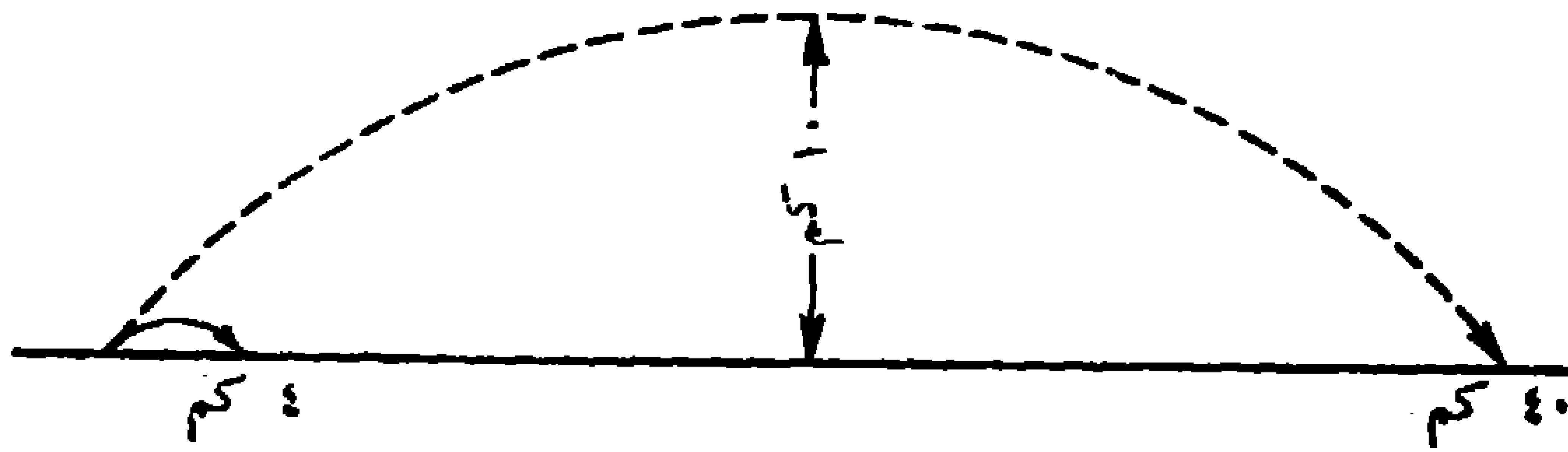
وكما هو معروف ، فاثناء انطلاق وهبوط السفن الفضائية ، يشعر رواد الفضاء بارهاق شديد ، وذلك لأن وزنهم يتضاعف بعدد من المرات يتراوح بين ١٠ و ١٤ مرة . ولكى يتحمل الطيارون الارهاق دون الحاق الاذى بأنفسهم ، تصنع مقاعدهم من مواد بلاستيكية خاصة ، بحيث يكون شكلها مطابقا تماما لجسم الرائد .

الفصل الثالث | مقاومة الوسط

الرصاصة والهواء

يعلم الجميع ان الهواء يعرقل انطلاق الرصاصة . ولكن القليلين فقط ، بامكانهم ان يتصوروا بوضوح ، مدى قوة تلك التأثيرات المعرقلة الناتجة عن الهواء . ومعظم الناس يميل الى التفكير بان وسطا رقيقا كالهواء ، الذى لا نحس به عادة ، ليس باستطاعته عرقلة الانطلاق السريع لرصاصة المسدس او البندقية باى قدر ملحوظ .

ولكننا اذا نظرنا الى الشكل ٢٨ ، لفهمنا بان الهواء يشكل عقبة خطيرة جدا بالنسبة للرصاصة . ان القوس الكبير الموضح فى الشكل المذكور ، يمثل الطريق الذى يمكن ان تقطعه الرصاصة فى حالة عدم وجود المحيط الجوى (الهواء) . وعندما تنطلق الرصاصة من سبطانة البندقية (بزاوية ٤٥ ° ، وبسرعة ابتدائية قدرها ٦٢٠م/ ثانية) ، فانها ترسم قوسا كبيرا جدا يبلغ ارتفاعه ١٠ كم ، وتقطع مسافة افقية قدرها ٤٠ كم . وفى الواقع ،



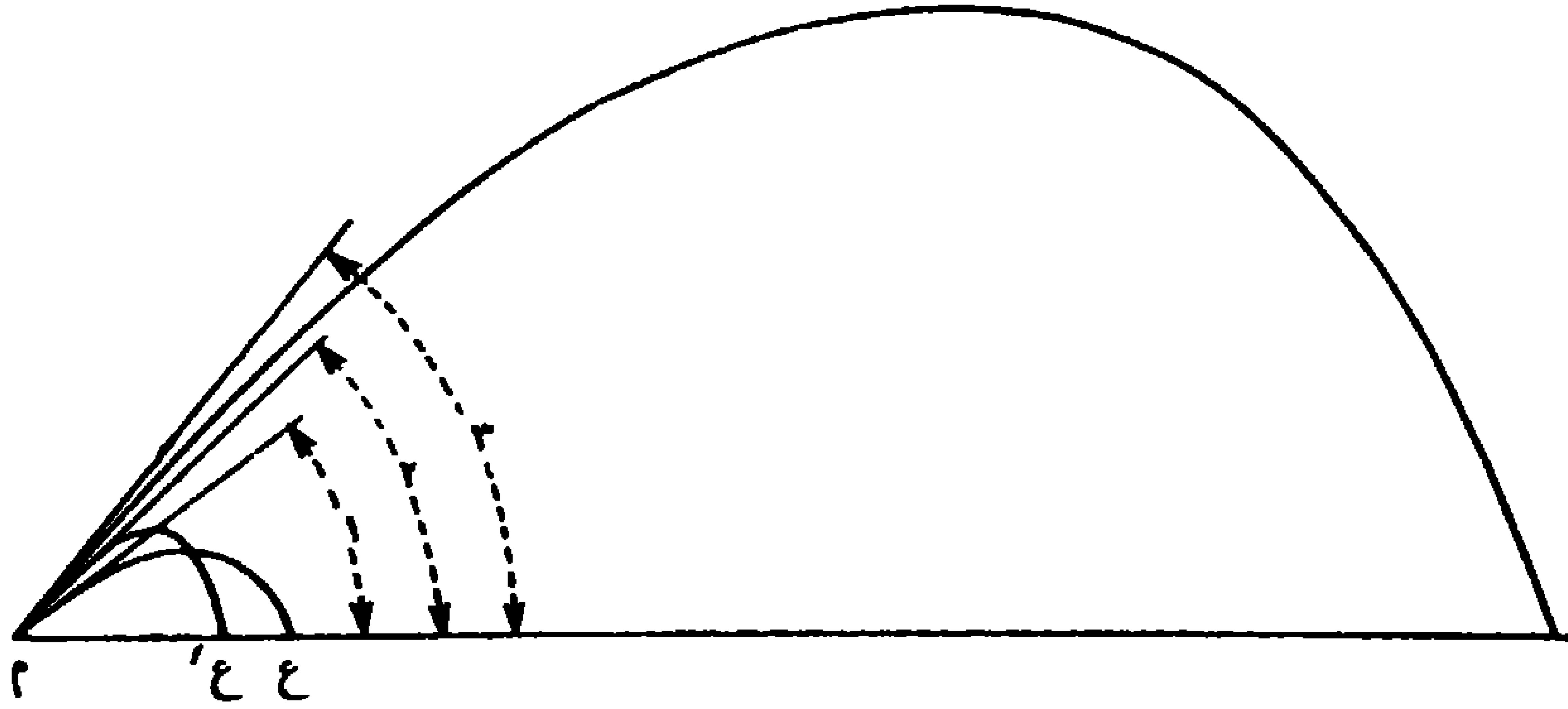
شكل ٢٨ : طيران الرصاصة فى الفراغ وفى الهواء . ان القوس المنقط الكبير يمثل الطريق الذى كانت ستسلكه الرصاصة فى حالة عدم وجود الهواء (المحيط الجوى) . اما القوس الصغير الى اليسار ، فيمثل المسار الحقيقى للرصاصة فى الهواء .

فان الرصاصة فى الظروف المذكورة لا ترسم الا قوسا صغيرا نوعا ما ، ولاتقطع الا مسافة تقدر بـ ٤ كم . والقوس الصغير المبيّن فى الشكل المذكور ايضا ، ليست له قيمة اذا ما قورن بالقوس الاول . تلك هى نتيجة مقاومة الهواء . اذا لم يكن ثمة هواء ، لأمكن رمى هدف على بعد ٤٠ كم .

الرماية البعيدة المدى

ان اول من استطاع رمى العدو على مسافة تقدر بمائة كيلومتر او اكثر ، هى المدفعية الالمانية . وذلك فى نهاية الحرب العالمية الاولى (عام ١٩١٨) ؛ عندما نجحت القوات الجوية الفرنسية والانكليزية فى القضاء على الغارات الجوية الالمانية . عندئذ اختارت هيئة اركان الحرب الالمانية وسيلة اخرى ، هى المدفعية ، لتدمير عاصمة فرنسا ، التى كانت تبعد عن الجبهة بما لا يقل عن ١١٠ كم .

وكانت تلك الوسيلة جديدة بالمرة ، لم يجربها احد من قبل ، توصل اليها رجال المدفعية الالمان صدفة . وكان ذلك عند الرمى من مدفع ثقيل بزاوية ارتفاع كبيرة ،



شكل ٢٩ : مراحل تغير مدى طيران القذيفة ، تبعا لتغيير زاوية ميل المدفع البعيد المدى . عند الزاوية ١ ، تسقط القذيفة فى النقطة ع ، وعند الزاوية ٢ ، تسقط القذيفة فى النقطة عَ ، اما عند الزاوية ٣ ، فيتضاعف مدى الرمى بمرات عديدة ، و ذلك لان القذيفة تمر اثناء طيرانها ، بطبقات الجو المخلخل .

حيث وجد فجأة ان القذيفة قطعت مسافة ٤٠ كم بدلا من ٢٠ كم . وظهر ان القذيفة المطلقة بقوس الى الاعلى ، بسرعة ابتدائية كبيرة ، تصل الى تلك الطبقات الجوية العليا المخلخلة ، حيث تصبح مقاومة الهواء ضعيفة جدا ؛ وفى مثل هذا الوسط الضعيف المقاومة ، تقطع القذيفة الجزء الاكبر من طريقها ، وبعد ذلك تهبط بتقوس على الارض . ويبين الشكل ٢٩ ، بوضوح ، مدى الاختلاف الكبير بين المسافات التى تقطعها القذائف عند تغيّر زاوية الارتفاع .

وقد استخدم الالمان هذا الاكتشاف فى اساس تصميم مدفع الرمى البعيد المدى لقصف مدينة باريس على بعد ١١٥ كم .

لقد تم صنع المدفع بنجاح ، بحيث استطاع الالمان طوال صيف عام ١٩١٨ ، ان يمطروا باريس بما يزيد على ٣٠٠ قذيفة .

وقد عرف عن ذلك المدفع بعدئذ .

انه كان يتكون من سبطانة فولاذية ضخمة يبلغ طولها ٣٤ م ، وسمكها متر واحد . اما سمك جدران المغلاق فقد بلغ ٤٠ سم . وكان المدفع باكمله يزن ٧٥٠ طنا ، وبلغ طول قذيفته التى تزن ١٢٠ كجم ، مترا واحدا وسمكها ٢١ سم . وقد بلغت كمية البارود المستخدم فى العبوة الواحدة ١٥٠ كجم ؛ والضغط الناتج بداخلها يساوى ٥٠٠٠ ضغط جوّى ، وهو الذى جعل القذيفة تنطلق بسرعة ابتدائية قدرها ٢٠٠٠م/ ثانية . وكان الرمى يتم بزاوية ارتفاع قدرها ٥٢ ° ، ورسمت القذيفة قوسا كبيرا جدا ، بلغ ارتفاع اعلى نقطة فيه ٤٠ كم عن سطح الارض ، اى توغلت فى الستراتوسفير (طبقة من المحيط الجوى) .

لقد قطعت القذيفة المسافة من الجبهة الى مدينة باريس — ١١٥ كم — بزمن قدره ٣٫٥ دقيقة ، استغرق تحليق القذيفة فى الستراتوسفير دقيقتين منها .

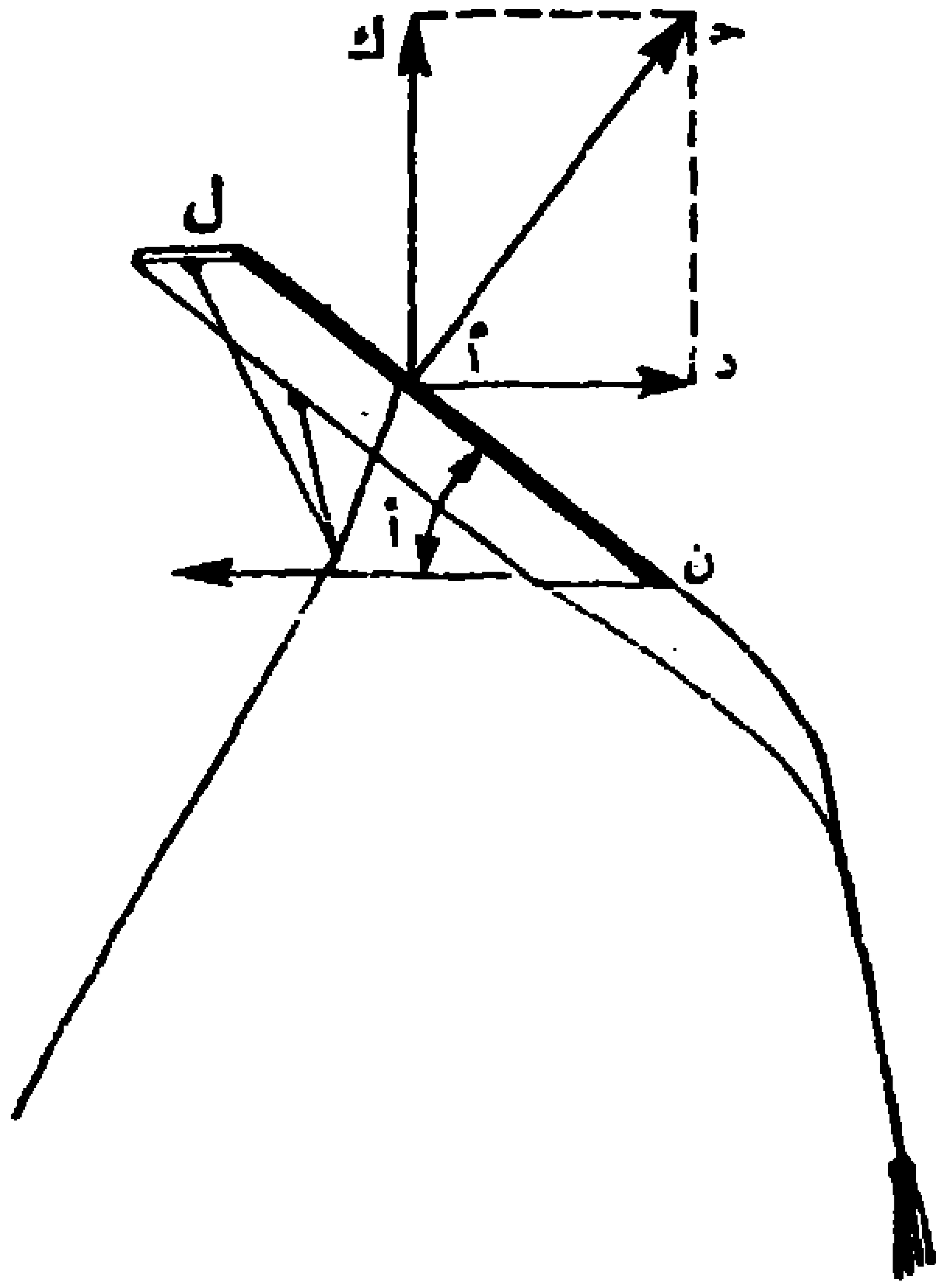
هكذا بدا اول مدفع للرمى البعيد المدى وكان اساس تطور المدفعية البعيدة المدى الحديثة . وكلما زادت السرعة الابتدائية للرصاصة او القذيفة ، كلما زادت معها مقاومة الهواء . اذ انها لا تزداد طرديا مع السرعة ، بل اكثر من ذلك ، اى تزداد طرديا مع مربع السرعة او مكعب السرعة .. وهكذا ، تبعا لمقدار تلك السرعة .

لماذا ترتفع الطيارة الورقية الى الاعلى

هل تعرف لماذا ترتفع الطيارة الورقية الى الاعلى عندما تجرها من الخيط الى الامام ؟ اذا كنت تعرف ذلك ، فانك تعرف ايضا لماذا تطير الطائرات ، ولماذا تطير في



شكل ٣٠ : منظر خارجي للمدفع الالماني العملاق .



شكل ٣١ : القوى المؤثرة على طيارة الورق .

الهواء بذور بعض النباتات ، وسيمكنك الى حدّ ما ان تعلل اسباب الحركات الغريبة لسلاح البُوميرنج *، وذلك لان كل هذه الظواهر تخضع لنظام واحد . ان الهواء الذي

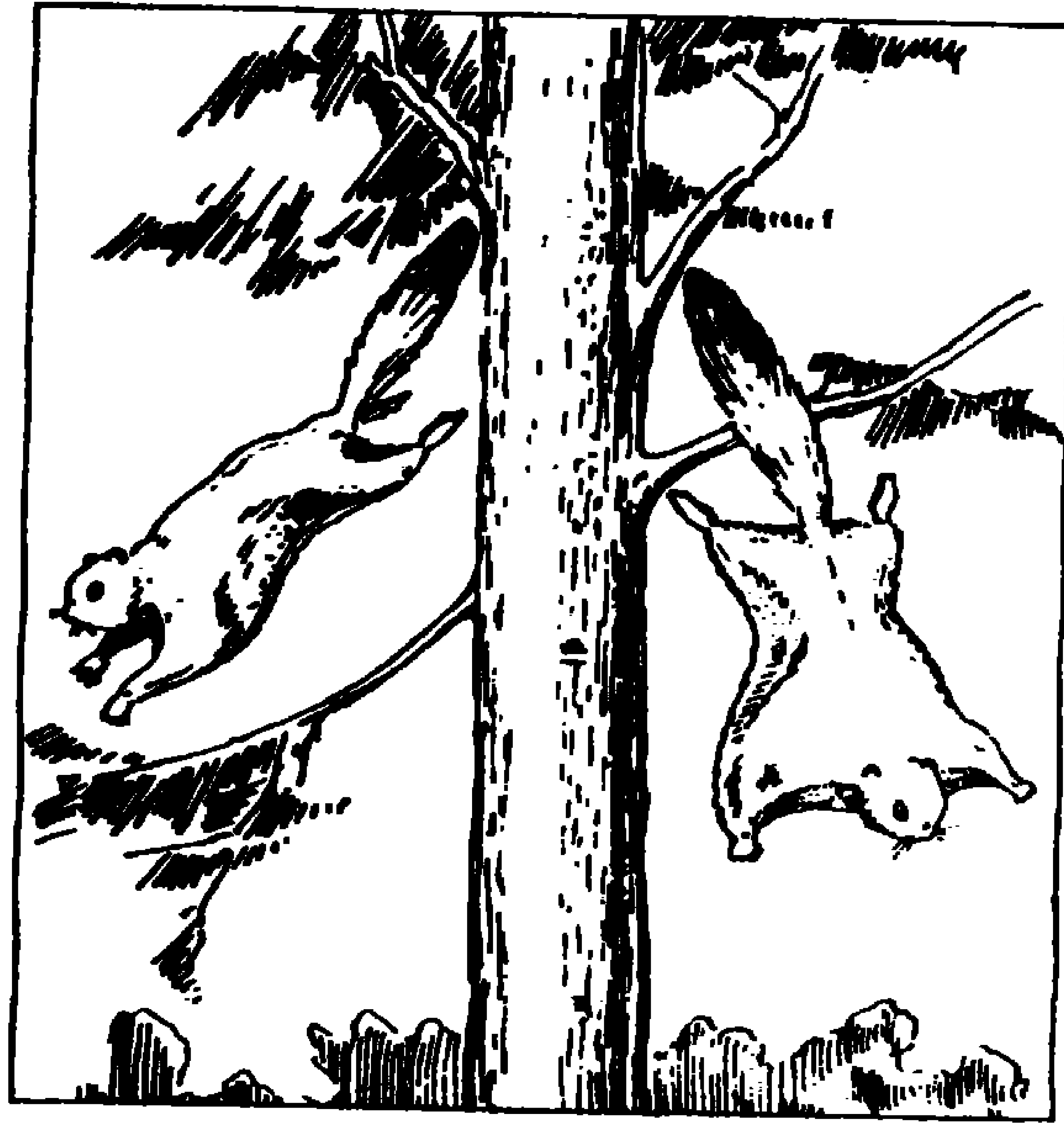
* سلاح استرالي خشبي قديم يرمى به فيعود الى قاذفه (المعرب) .

يشكل عقبة كبيرة امام انطلاق الرصاصة والقذيفة ، يساعد بالذات ، لا على طيران بذور الاسفندان الخفيفة او الطيارة الورقية فحسب ، بل ويساعد كذلك على طيران الطائرة الثقيلة المحملة بعشرات الركاب .

ولكى نشرح سبب ارتفاع الطيارة الورقية الى الجو ، سنلجأ الى استخدام الرسم التخطيطى المبسط . لنفرض ان الخط ل ن (شكل ٣١) يمثل المقطع العرضى للطيارة الورقية . وعندما نطلق الطيارة الورقية ونسحبها من الخيط ، فانها تتحرك بزاوية مع الافق بسبب ثقل ذيلها . ولنفرض انها تتحرك من اليمين الى اليسار . نرمز الى زاوية ميل مستوى الطيارة الورقية مع الافق بالحرف أ . والآن لندرس القوى المؤثرة على الطيارة الورقية اثناء حركتها . ان الهواء بطبيعة الحال ، يجب ان يعرقل حركتها ويضغط عليها قليلا . وهذا الضغط موضح فى الشكل ٣١ بالسهم م ح . ولما كان الضغط الناتج من الهواء يؤثر على السطح دائما بصورة عمودية ، لذا رسم الخط م ح عموديا على الخط ل ن . ويمكن تحليل القوة م ح الى مركّبتين ، وذلك برسم ما يسمى بمتوازى اضلاع القوى ، فنحصل على قوتين هما م د ، م ك عوضا عن القوة م ح . ان القوة م د تدفع الطيارة الورقية الى الوراء ، وبالتالى ، تقلل من سرعتها الابتدائية . اما القوة الاخرى م ك ، فتسحب الطيارة الى الاعلى ، وتقلل من وزنها . واذا كانت هذه القوة كبيرة الى حد كاف ، فانها تستطيع التغلب على وزن الطيارة وترفعها . وهذا هو سبب ارتفاع الطيارة الورقية الى الاعلى عندما نسحبها من الخيط الى الامام .

والطائرة العادية ، تشبه من حيث المبدأ الطيارة الورقية ، وقد استعيض فيها عن القوة المحركة اليدوية ، بالقوة المحركة للرفاس او المحرك النفاث ، وهى القوة التى تجعل الطائرة تتحرك الى الامام ، وبالتالى كما فى حالة الطيارة الورقية ، تحملها على الارتفاع الى الاعلى . لقد شرحنا هذه الظاهرة هنا شرحا تقريبيا ، وهناك عوامل اخرى تساعد على ارتفاع الطائرة فى الجو ، سنأتى على ذكرها فى الكتاب الثانى من « الفيزياء المسلية » .

ان الطائرات ، كما رأينا ، لم تصنع على هيئة الطيور مطلقا ، ولكنها على الارجح صنعت على هيئة السنجاب الطائر او السمك الطائر . وبالمناسبة ، فان الحيوانات المذكورة اعلاه ، لا تستخدم اجنحتها الغشائية لغرض الارتفاع الى الاعلى ، بل تستخدمها لغرض واحد ، هو القيام بقفزات كبيرة ، اى « الهبوط الهادف » كما يسمى بلغة الطيارين . ان القوة م ك (شكل ٣١) عند هذه الحيوانات ، غير كافية لموازنة ثقل الجسم موازنة تامة ؛ فهى تقلل من الوزن فقط ، وبذلك تساعد الحيوانات على القيام بقفزات كبيرة جدا من اماكن مرتفعة (شكل ٣٢) . ان السنجاب الطائر يقفز لمسافة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ م من قمة احدى الاشجار الى الاغصان السفلى لشجرة اخرى . ويوجد فى الهند



شكل ٣٢ : السنجاب الطائر اثناء تحليقه فى الهواء . ويستطيع هذا السنجاب ان يقفز من مكان مرتفع الى مسافة تتراوح بين ٢٠ — ٣٠ م .

وسيلان نوع كبير جدا من السنجاب الطائر — تجوان — وهو بحجم القطة ؛ وعندما ينشر « جناحه » ، يصل طوله ، اى طول « الجناح » ، الى نصف متر . ان هذه الابعاد الكبيرة للاجنحة الغشائية ، تساعد الحيوان على القفز لمسافة ٥٠ م ، على الرغم من وزنه الكبير نوعا ما .

بالونات طائرة من النباتات

ان النباتات بذورها ، كثيرا ما تلجأ الى الطيران الشراعى ، وخاصة لغرض نشر ثمارها وبذورها . وهناك بذور وثمار كثيرة مزودة اما بحزم من الشعيرات (كما فى نباتات الهندباء البرية وذقن المعزة والقطن) ، التى تعمل مثل المظلة (البراشوت) ، او مزودة بما يشبه الاجنحة وغير ذلك . ويمكن ملاحظة مثل هذه الطائرات الشراعية النباتية فى كل من النباتات التالية : الصنوبر والاسفندان والدردار والبتولا والبقيصا والزيزفون وانواع كثيرة من النباتات ذات الازهار الخيمية وغيرها .

وقد كتب كيرنير فون ماريلون حول ذلك فى كتابه المعنون « حياة النباتات » ، ما يلى :

« فى الايام الصحوة عندما تكون الرياح هادئة ، يرتفع الكثير من البذور والثمار بتيار الهواء العمودى ، الى ارتفاع شاهق ، ولكن بعد غياب الشمس تهبط عادة من جديد ، فى مكان لا يبعد كثيرا عن المكان الاول . وهذا النوع من الطيران لا يكون مهما لانتشار النباتات على مساحات واسعة ، بقدر ما هو مهم بالنسبة لدخولها واستقرارها فوق الافاريز وفى شقوق المنحدرات الشديدة الميل والصخور الرأسية ، حيث لا تستطيع الوصول الى مثل هذه الاماكن بطريقة اخرى عدا الطيران . اما تيارات الهواء المتحركة بصورة افقية ، فيمكنها حمل البذور والثمار التى تحوم فى الجو ، الى مسافات بعيدة جدا .

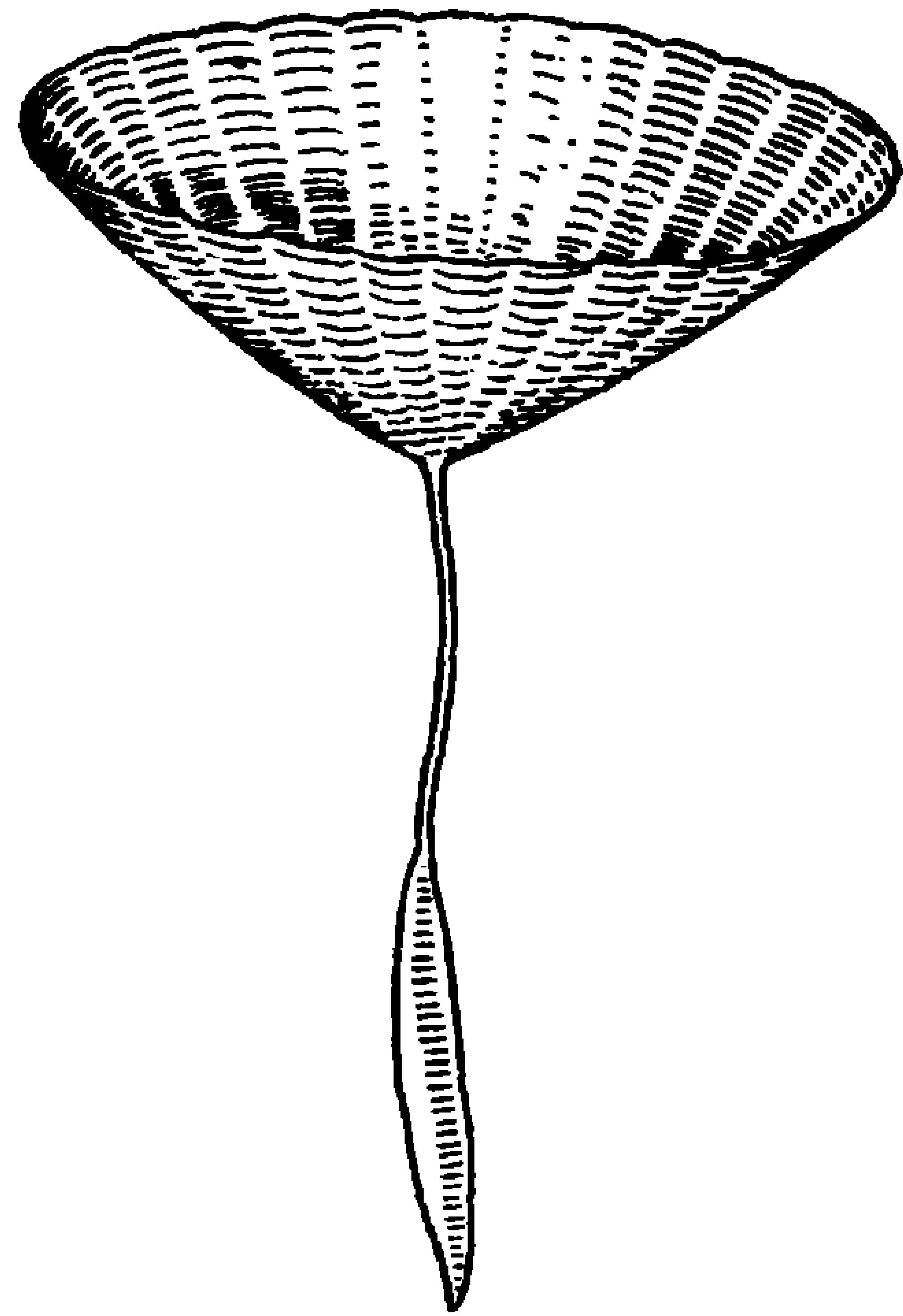
وفى بعض النباتات ، تبقى المظلات والاجنحة متصلة بالبذور اثناء الطيران فقط .

ان بذور النبات المسمى برأس القنفذ (نبات شائك) ، تسبح فى الهواء بشكل هادئ ، ولكنها سرعان ما تنفصل عن مظلاتها وتسقط على الارض عندما تصدم بحائل ما . وهذا يوضح سبب كثرة وجود بذور رأس القنفذ قرب الجدران والاسوار . وفى

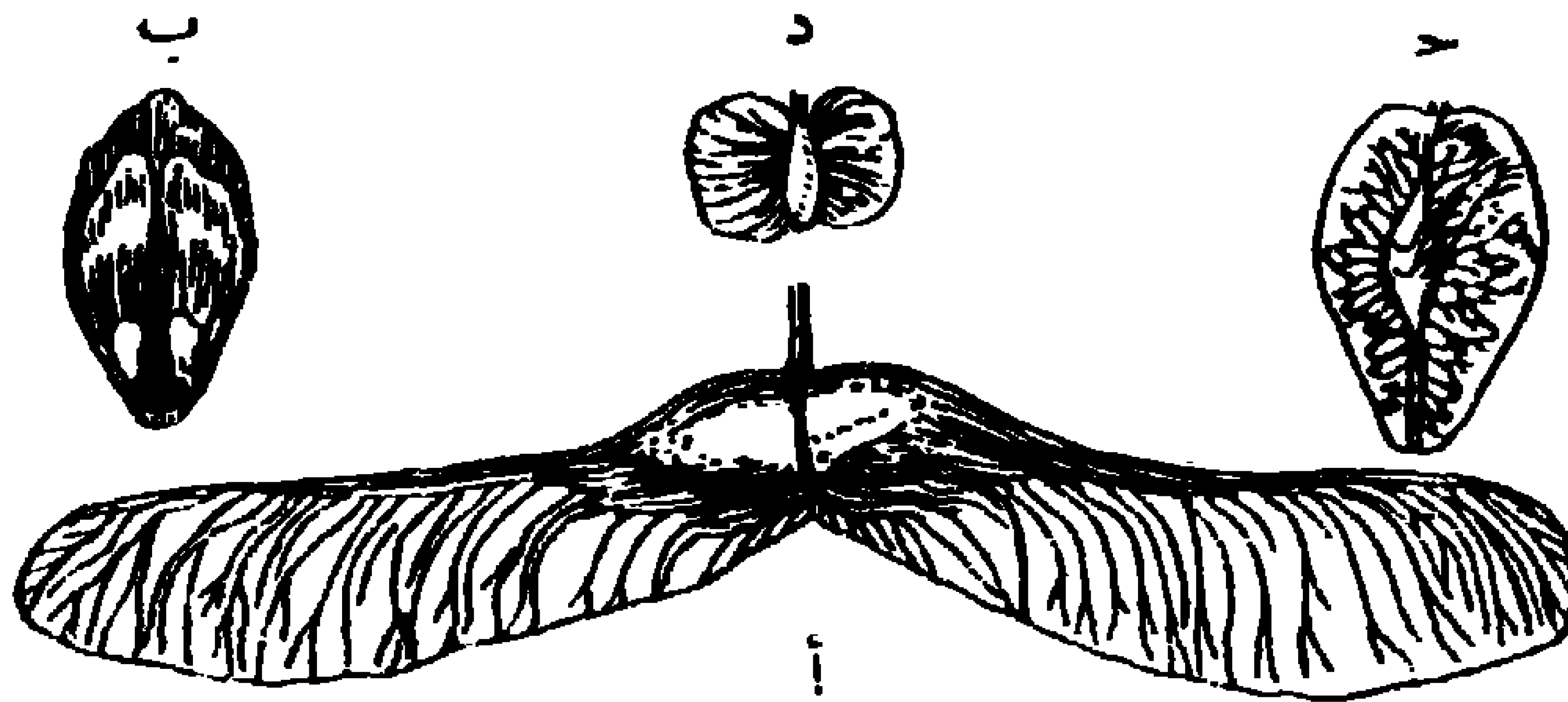
حالات اخرى ، تبقى البذور دائما متصلة بظلاتها » .

ويوضح الشكلان ٣٣ و ٣٤، بعض الثمار والبذور المزودة بأشرعة للطيران .

والطائرات الشراعية النباتية ، اكثر دقة وكمالا من الطائرات الشراعية التي يصنعها الانسان من عدة نواح . فهي ترفع حملا كبيرا جدا بالمقارنة مع وزنها الذاتي . وبالاضافة الى ذلك ، فان هذه الطائرة النباتية تمتاز بالاستقرار الاوتوماتي: اذا اديرت بذرة نبات الياسمين الهندى ، فانها تعود ذاتيا الى وضعها الاول بجانبها المحدب الى الاسفل ؛ واذا صادفت البذرة اثناء طيرانها حاجزا ما ، فانها لا تفقد توازنها ولا تسقط ، بل تهبط الى الاسفل بسلاسة .



شكل ٣٣ : ثمرة نبات « ذقن المعزة » .



شكل ٣٤ : البذور الطائرة لبعض النباتات : أ – بذور اشجار الاسفندان (القيقب) ، ب – بذور اشجار الصنوبر ، حـ – بذور اشجار البقيصا (الدردار) ، د – بذور اشجار البتولا .

قفزة المظلّى مع تعويق فتح المظلة (القفزة المعوّقة)

تعود بنا الذاكرة هنا الى القفزات البطولية التى قام بها ابطال رياضة القفز بالمظلات فى الاتحاد السوفييتى ، عندما القوا بانفسهم من ارتفاع يصل الى ١٠ كم تقريبا ، دون ان يفتحوا مظلاتهم الا بعد ان اصبحوا على ارتفاع لا يتجاوز مئات الامتار عن سطح الارض . (لقد قام المظليون السوفييت عام ١٩٦٣ بالقفز من ارتفاع ٢٥ كم) .

ويعتقد الكثير من الناس ، ان الرياضى عندما يسقط كالحجر دون ان يفتح مظلته ، فانه يهبط الى الاسفل كما يحدث فى الفراغ . ولو كان الامر كذلك — اى لو سقط الرياضى فى الهواء كما يسقط فى الفراغ — لاستغرقت القفزة المعوّقة زمنا يقل بكثير عما هو عليه فى الواقع ، ولكانت السرعة الناتجة فى النهاية كبيرة للغاية .

ولكن مقاومة الهواء تعرقل زيادة السرعة . ان سرعة جسم المظلى اثناء القفزة المعوقة ، تزداد فقط خلال الثوانى العشر الاولى ، لمسافة تساوى بضع مئات من الامتار . وتزداد مقاومة الهواء بزيادة السرعة ، وتصل زيادة المقاومة الى حد كبير ، بحيث سرعان ما تحل اللحظة التى تصبح فيها السرعة ثابتة ، ويصبح تسارع الجسم منتظما .

ويمكن بواسطة الحساب ان نوضح الملامح العامة لشكل القفزة المعوقة من وجهة نظر الميكانيكا . ان تسارع جسم المظّلى عند هبوطه ، يستمر لفترة الاثنتى عشرة ثانية الاولى فقط ، او اقل من ذلك بعض الشىء ، تبعا لوزنه . ويستطيع خلال الثوانى العشر الاولى ، ان يهبط لمسافة تتراوح بين ٤٠٠—٥٠٠ م ، ويكتسب سرعة تبلغ حوالى ٥٠ م/ثانية . اما كل ما يتبقى من الطريق حتى لحظة انفتاح المظلة ، فيقطعه الجسم بحركة منتظمة بالسرعة السابقة .

وبنفس الطريقة تقريبا تتساقط قطرات المطر . ولكن الاختلاف يكمن فى شىء واحد فقط ، وهو ان المرحلة الاولى للسقوط ، عندما تكون السرعة بعد ، فى حالة ازدياد ، لا تستغرق بالنسبة لقطرة المطر الا حوالى ثانية واحدة او حتى اقل من ذلك . ولهذا السبب ، لا تكون السرعة النهائية لقطرة المطر كبيرة جدا ، كما هى عليه فى حالة القفزة المعوقة للمظلى . اذ انها تتراوح بين ٢ — ٧ م/ ثانية تبعا لحجم القطرة .

البوميرنج

ان هذا السلاح الغريب ، الذى يعتبر من اتقن المنتجات التكنيكية التى حققها الانسان البدائى ، حيّر العلماء لمدة طويلة من الزمن . وفى الحقيقة ، فان الاشكال الغريبة المعقدة ، التى يرسمها البوميرنج فى الهواء (شكل ٣٥) ، تحيّر كل الناس .

اما فى الوقت الحاضر ، فقد شرحت نظرية تحليق البوميرنج شرحا وافيا ، وبذلك زالت الدهشة التى تملكت عقول الناس . وسوف لن نتعمق الآن فى بحث هذه التفاصيل الطريفة ، بل سنكتفى بالقول ، بان هذه الخطوط العجيبة التى يرسمها البوميرنج اثناء تحليقه ، ما هى الا نتيجة لتفاعل ثلاثة عوامل هى : ١) الرمية الابتدائية ، ٢) دوران البوميرنج ، ٣) مقاومة الهواء .

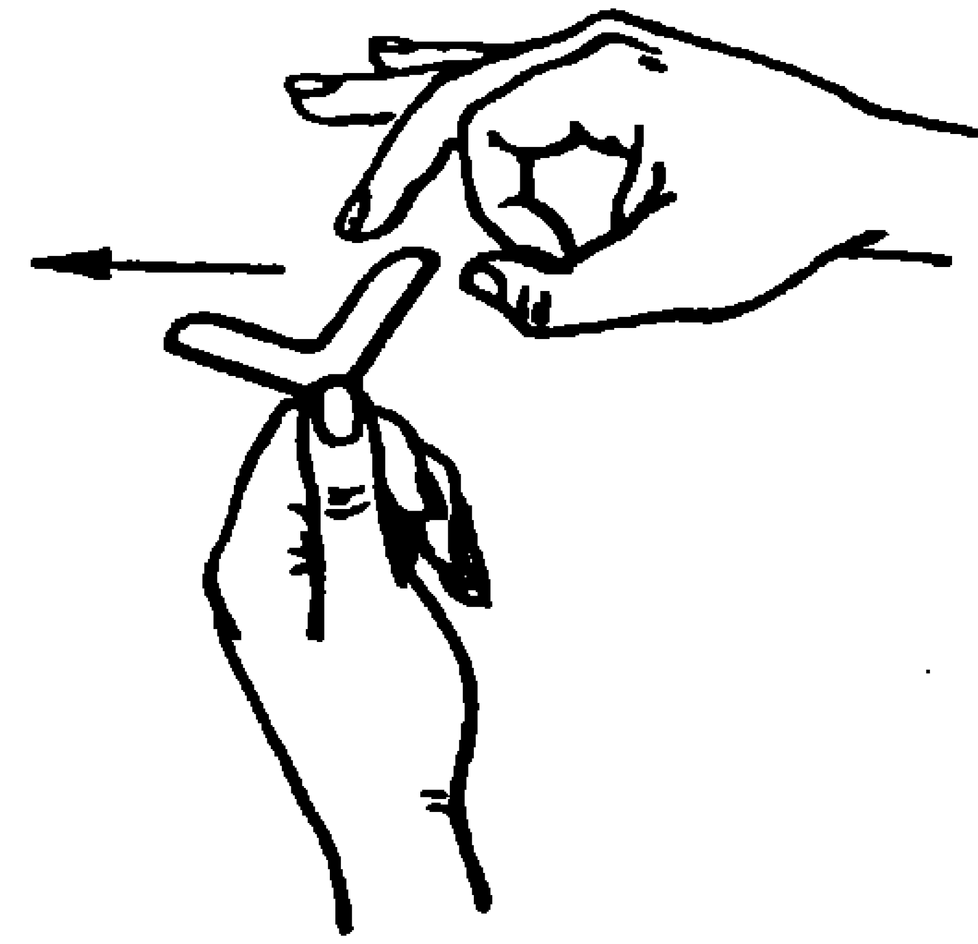


شكل ٣٥ : الطريقة التى يستخدم بها الاسترالى سلاح البوميرنج فى الصيد ، للقضاء على فريسته من وراء حاجز ما . والخط المنقط يبين الطريق الذى يسلكه البوميرنج عندما يرمى ولا يصيب الهدف .

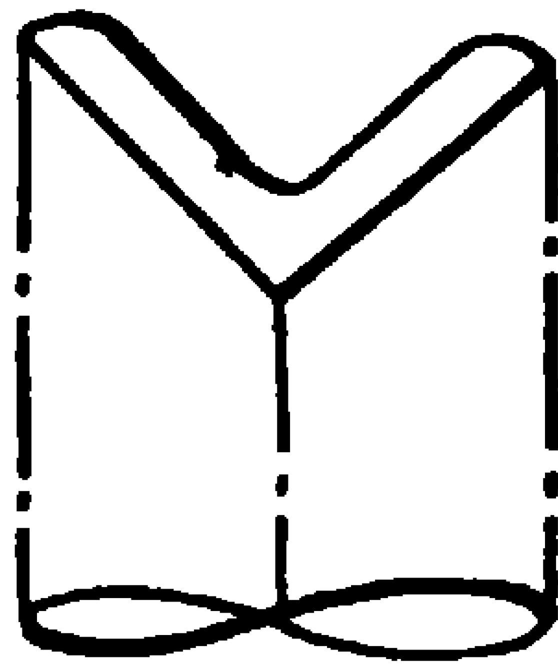
ان الاسترالى يستطيع بالغريزة ان يوحد بين هذه العوامل الثلاثة . اذ انه يغيّر زاوية ميل البوميرنج وقوة الرمية واتجاهها ، بمهارة ، للحصول على التنيجة المطلوبة . وعلى ايّة حال ، فباستطاعة كل منّا ان يتعلم رمى البوميرنج نوعا ما .

ولكى تتدرب على ذلك فى داخل الغرف ، يجب الاكتفاء ببوميرنج ورقى ، يمكن قصه من الورق المقوى على الصورة المبينة فى الشكل ٣٦ ، بحيث يبلغ طول كل فرع حوالى ٥ سم ، وعرضه اقل من ١ سم بقليل . ثبّت هذا البوميرنج الورقى تحت ظفر الابهام ، وانقفه بأصبعك الى الامام بحيث يتجه قليلا الى الاعلى . سيطير البوميرنج لمسافة ٥ م ، ويرسم بسلاسة ، منحنى ، يكون احيانا معقدا جدا ، واذا لم يصطدم بحاجز ما فى الغرفة ، فانه يعود ليسقط تحت قدميك .

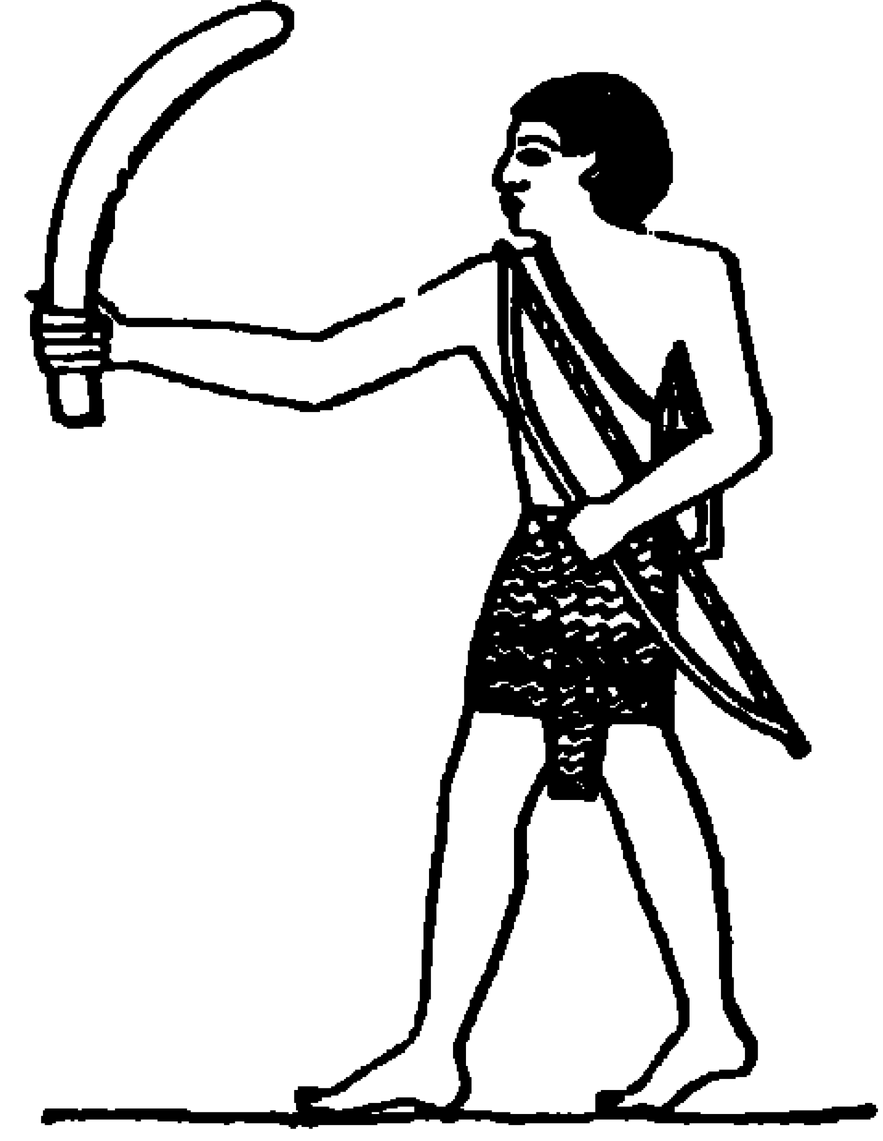
وتكون التجربة اكثر نجاحا ، اذا كان شكل البوميرنج والابعاد المبينة فى الشكل ٣٧ ، كما هى عليها فى الطبيعة . ومن المفيد ان نبرم فرعى البومرنج ، كما هو مبيّن فى الشكل ٣٧ فى الاسفل . ويمكن جعل مثل هذا البوميرنج ، بعد تدريب قليل ، ان يرسم فى الهواء منحنيات معقدة ويعود الى المحل الذى انطلق منه .



شكل ٣٦ : البوميرنج الورقى وطريقة رميه .



شكل ٣٧ : صورة اخرى للبوميرنج الورقى (بالحجم الطبيعى) .



شكل ٣٨ : صورة لمحارب مصرى قديم يرمى سلاح البوميرنج.

واخيرا ، نلاحظ ان البوميرنج لا يمثل مطلقا ، كما يفكر البعض عادة ، سلاحا ينفرد به الاستراليون وحدهم . انه يستخدم فى مناطق متعددة من الهند ، وكما يتبين من بقايا الرسوم الجدارية الاثرية ، فقد كان البومرنج فى وقت ما سلاحا مألوفا لدى الجنود الاشوريين (شكل ٣٨). وقد اشتهر البوميرنج كذلك فى مصر القديمة وفى النوبة. اما الشىء الوحيد الذى انفرد به الاستراليون فى هذا المجال ، فهو اعطاء البوميرنج شكل المنحنى الملولب . ولهذا السبب ، يقوم البوميرنج الاسترالى اثناء انطلاقه برسم منحنيات معقدة ، وعندما لا يصيب الهدف ، يعود مرة اخرى ليستقر بين قدمى راميه .

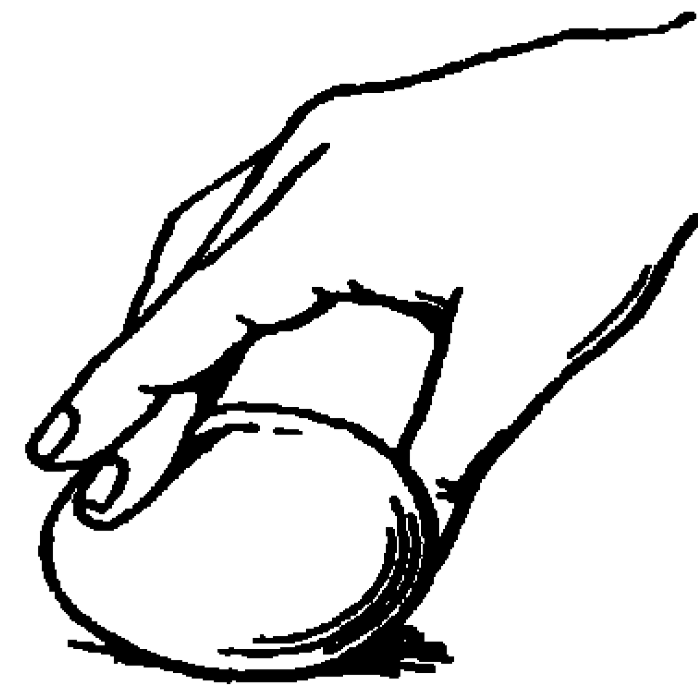
الفصل الرابع

الدوران « المحرك الدائم الحركة »

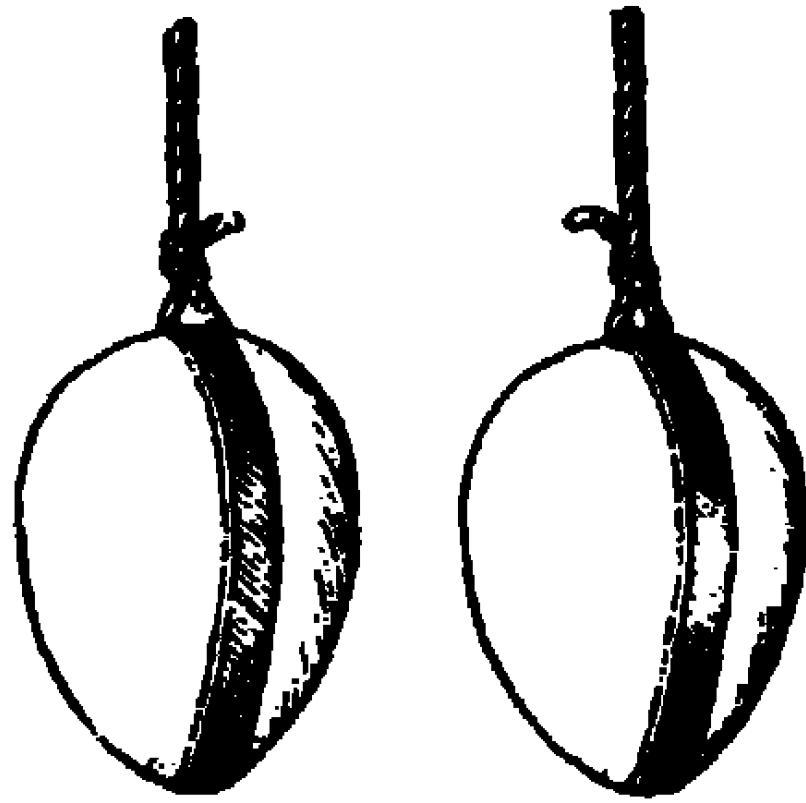
كيف نميّز البيضة المسلوقة عن النيئة ؟

كيف نتصرف اذا اردنا ان نعرف فيما اذا كانت البيضة مسلوقة ام نيئة ، بدون ان نكسر قشرتها ؟ ان معرفة علم الميكانيكا تساعدنا على الخروج من هذا المأزق البسيط بنجاح .

وتتلخص المسألة في ان دوران البيضة المسلوقة يختلف عن دوران البيضة النيئة . وبذلك يمكن التوصل الى حل هذه المسألة . نضع البيضة المراد فحصها على طبق مسطح ونحركها باصبعينا حركة دورانية (شكل ٣٩) . وفي هذه الحالة ، فان البيضة المسلوقة (وخاصة الجامدة) تدور اسرع كثيرا من البيضة النيئة ولمدة اطول . اما البيضة النيئة ، فمن الصعب ان نجعلها تدور ، في الوقت الذي تدور فيه البيضة الجامدة



شكل ٣٩ : طريقة تدوير (تدويم) البيضة .



شكل ٤٠ : يمكن تمييز البيضة المسلوقة عن البيضة النيئة وذلك بتدوير البيضتين بعد تعليقهما بخيطين .

بسرعة كبيرة ، بحيث تتحول ملامحها بالنسبة للعين الى مجسم القطع الناقص ، بلون ابيض وشكل مسطح ، حتى انها قد تقف بالذات على طرفها المدبب .

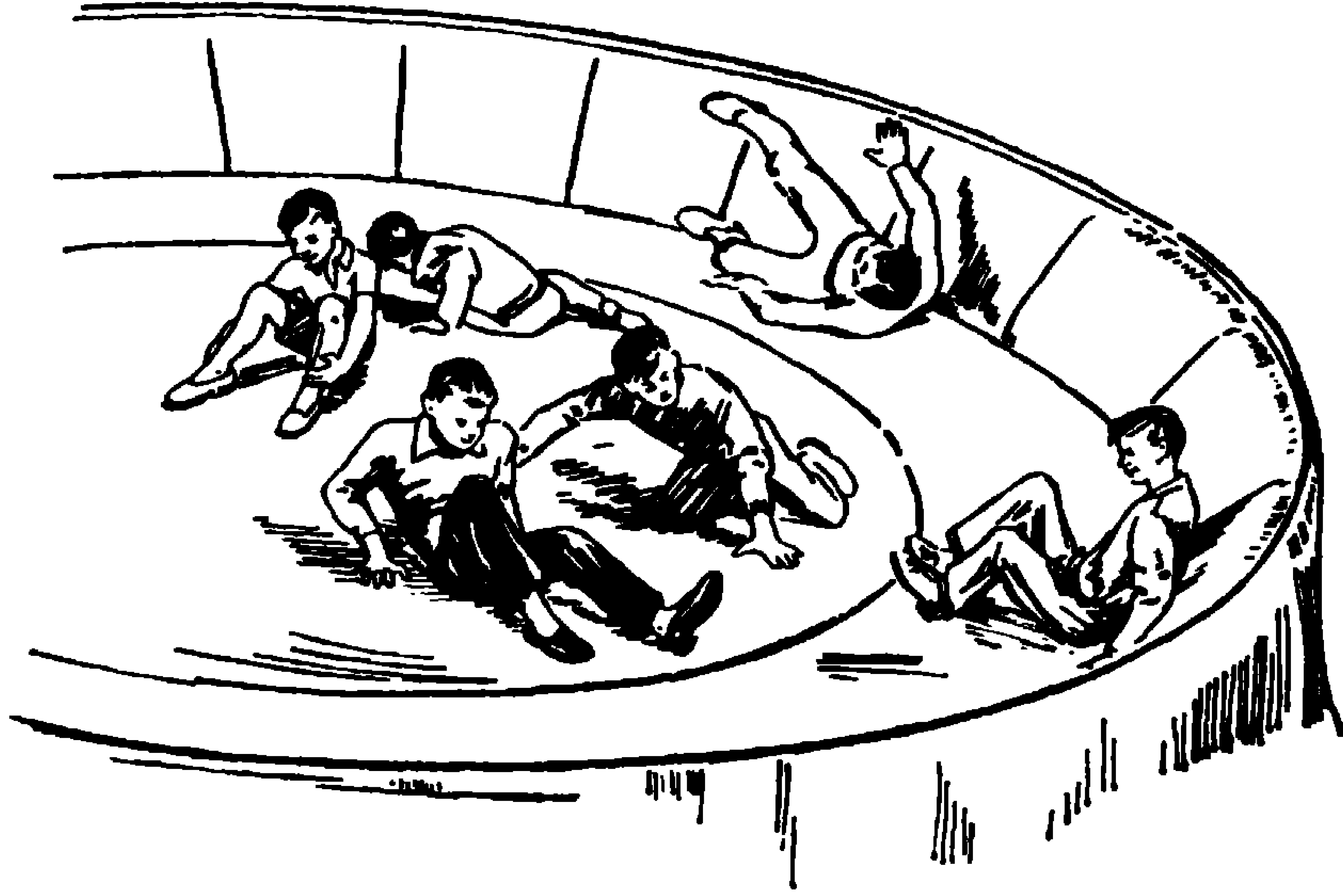
ان سبب هذه الظواهر يتلخص في ان البيضة الجامدة تدور مثل الجسم المصمت برّمته . اما في البيضة النيئة ، فان السوائل الموجودة في داخلها لا تبدأ بالحركة الدورانية مباشرة . وبسبب قصورها الذاتي ، تؤخر حركة القشرة الصلبة ، وتكون بدلك قد قامت بدور الكابح .

وكذلك يختلف تصرف البيضة المسلوقة عن تصرف البيضة النيئة فى حالة ايقاف الدوران . فاذا لمسنا البيضة المسلوقة باصبعنا وهي في حالة دوران ، لتوقفت في الحال . اما البيضة النيئة ، فلا تتوقف في الحال ، بل تدور قليلا حتى بعد رفع الاصبع عنها . ان هذا يحدث بسبب القصور الذاتي ايضا . وذلك لأنّ الكتلة السائلة الموجودة في داخل البيضة النيئة ، تستمر في دورانها بعد ان تصبح القشرة الصلبة ساكنة . اما محتويات البيضة المسلوقة ، فتتوقف في نفس اللحظة التي تتوقف فيها القشرة الخارجية .

ويمكن اجراء مثل هذه التجربة بطريقة اخرى . ثبت حلقتين مطاطيتين طوليا ، حول بيضتين ، احداهما نيئة والثانية مسلوقة ، وعلقهما بخيطين متساويين في الطول (شكل ٤٠) . ابرم كلا الخيطين عددا متساويا من المرات ، ثم اتركهما ، فيظهر الفرق حالا بين البيضة المسلوقة والبيضة النيئة . بعودة البيضة المسلوقة الى وضعها الابتدائي ، تبدأ تحت تأثير القصور الذاتي ببرم الخيط في الاتجاه المعاكس ، ثم تعيد برمه مرة اخرى ، وهكذا الى ان يقل عدد الدورات بالتدريج . اما البيضة النيئة فانها تدور مرة فأخرى ، ثم تتوقف قبل توقف البيضة المسلوقة بكثير . وذلك لان السوائل الموجودة في داخلها تكبح حركتها .

الدوامة المضحكة

افتح مظلتك الشمسية وثبت نهايتها في الارض ودوّرها من مقبضها . سوف لا تجد اية صعوبة في تدوير المظلة بسرعة كبيرة . والآن ، اقذف كرة او قطعة مكرمشة



شكل ٤١ : « الدوامة المضحكة » . ان الناس الموجودين على هذه الدوامة الدوارة يطرحون جانبا نحو اطرافها .

من الورق الى داخل المظلة ، سترى ان الشيء الذي قذفته ، لن يستقر داخل المظلة بل يطرد منها ، نتيجة لوجود ما يسمى خطأ بـ « القوة الطاردة المركزية » والتي ما هي في الحقيقة الا قوة القصور الذاتي . ولا تطرد الكرة باتجاه نصف القطر ، بل باتجاه ملامس لمحيط الحركة الدائرية (الدورانية) .

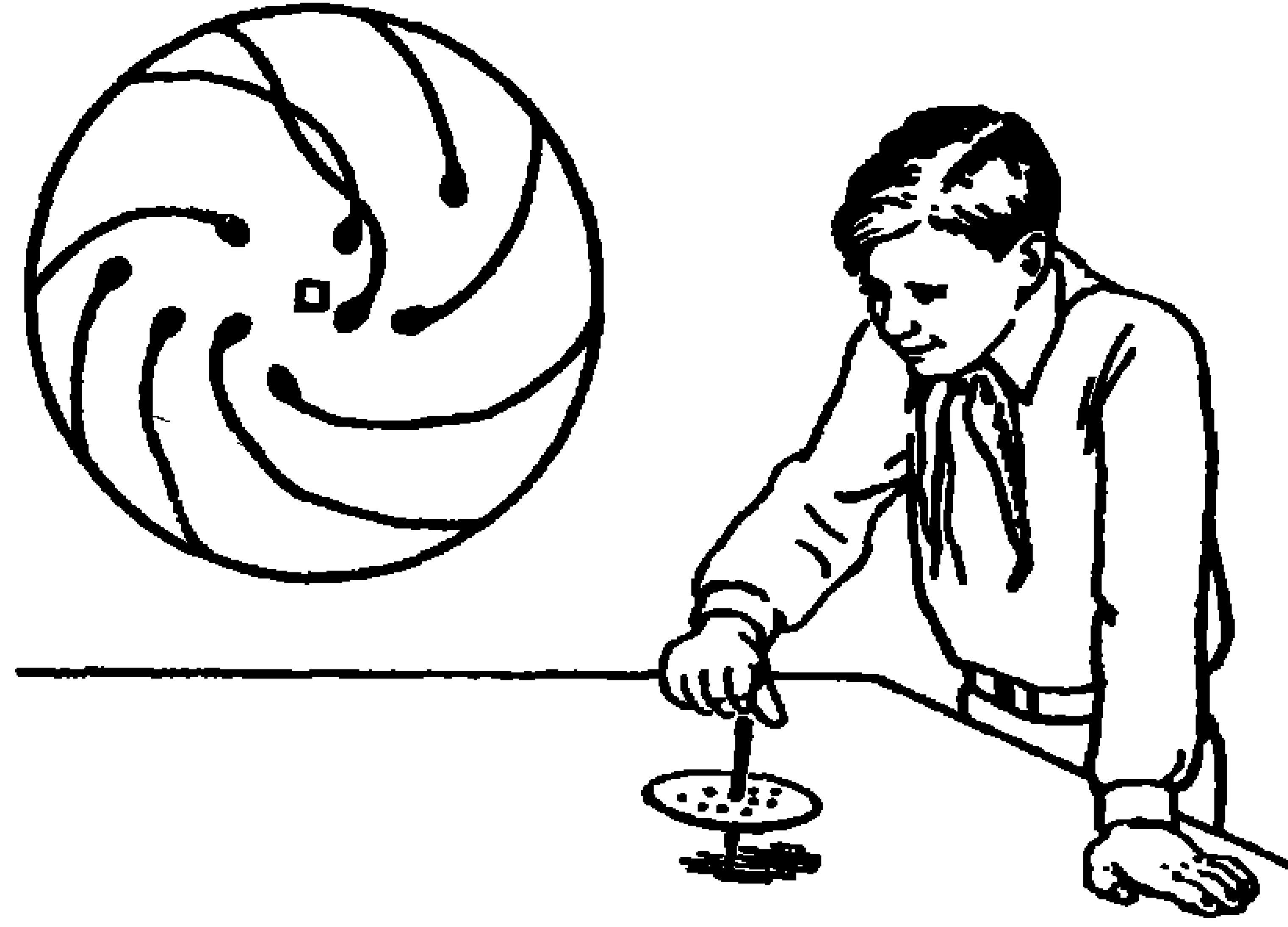
وعلى اساس هذا التأثير الناتج من الحركة الدورانية ، تم صنع وسيلة اللهو الممتعة المسماة بـ « الدوامة المضحكة » (شكل ٤١) ، والتي يمكن مشاهدتها مثلا ، في حدائق الراحة في موسكو . وهنا يستطيع الزوار ان يعرضوا انفسهم لتأثير قوة القصور الذاتي . توجد هناك رقعة دائرية من الارض ، يستطيع الزوار ان يقفوا او يجلسوا او يتمددوا عليها ، كلّ حسب رغبته . ثم يأخذ المحرك المخفي تحت تلك الرقعة من الارض ، بتدويرها بالقرب من المحور الرأسي بصورة سلسلة وبسرعة بطيئة في البداية ،

ثم تزداد السرعة بعد ذلك بالتدريج . عندئذ يبدأ جميع الناس الموجودين فوق الاطار الدوّار ، بالانحدار زحفا نحو محيطها ، وذلك بتأثير القصور الذاتي . ان حركة الركاب هذه تكون في البداية صعبة الملاحظة ، ولكن بقدر ابتعاد الركاب عن المركز ووصولهم الى المحيط اقرب فاقرب ، بقدر ما تصبح سرعة الحركة ، وبالتالي القصور الذاتي لها ، اكثر وضوحا من حيث تأثيرهما . ولن تستطيع اية قوة يبذلها الشخص ، أن تجعله يبقى في مكانه ، ويلقى بالركاب بعيدا عن « الدوامة المضحكة » .

والكرة الارضية في الحقيقة تشبه « الدوامة المضحكة » مع فارق واحد ، هو ان ابعادها متناهية في الكبر . والارض بطبيعة الحال ، لا تقذف بنا عن سطحها ، ولكنها مع ذلك تقلل من وزننا . وعند خط الاستواء ، حيث تكون سرعة دوران الارض اكبر ما يمكن ، يصل نقصان الوزن الناتج عن السبب المذكور الى $\frac{١}{٣٠٠}$ من الوزن الكلي . واذا اضيف الى ذلك سبب آخر (انضغاط الارض) ، فان وزن اى جسم عند خط الاستواء ، يقل بصورة عامة بمقدار نصف في المائة (اى بمقدار $\frac{١}{٢٠٠}$) . وهكذا ، فان وزن جسم الشخص البالغ ، يقل عند خط الاستواء بحوالى ٣٠٠ جم ، عما هو عليه عند القطب .

زوابع الحبر

لنأخذ قرصا من الورق المقوى الاملس الابيض اللون ، ونثقبه من المركز بعود ثقاب حاد الطرف ، يبقى ثابتا فيه ، فنحصل بذلك على دوّامة صغيرة ، مبينة في الشكل ٤٢ الى اليسار ، بابعادها الطبيعية . ولا نحتاج الى لباقة خاصة لكى نجعل هذه الدوامة تدور اذ يكفي ان نبرم عود الثقاب بين اصابعنا ونطرح الدوامة بسرعة على سطح مصقول . ويمكننا بهذه الدوامة اجراء تجربة مثالية جدا . قبل البدء بتدوير الدوامة ، نضع فوق سطح القرص عدة قطرات صغيرة من الحبر ، ونجعل الدوامة تدور قبل ان يجف الحبر . وعندما تكف



شكل ٤٢ : كيفية انسياب قطرات الحبر على قرص الورق الدوار .

الدوامة عن الدوران ، نرى ان كل قطرة من الحبر قد جرت فى خط حلزونى ، وان جميع هذه الخطوط الحلزونية تكوّن مع بعضها شكلا يشبه شكل العاصفة .

وهذا التشابه ليس وليد الصدفة . فماذا تعنى خطوط الحبر الحلزونية المرسومة على سطح القرص ؟ انها آثار حركة قطرات الحبر . ان القطرة ايضا ، تتعرض لنفس القوة التى يتعرض لها الانسان الموجود فوق سطح القرص الدوار « الدوامة المضحكة » . فعندما تزاح عن المركز بتأثير القوة الطاردة المركزية ، تصل الى تلك المواضع من القرص ، التى تكون سرعة دورانها اكبر من سرعة القطرة بالذات . وفى هذه المواضع ينزلق القرص من تحت القطرة ويسبقها . ويتم ذلك ، كما لو كانت القطرة قد تأخرت عن القرص وتراجعت الى مؤخرة نصف القطر (باتجاه المحيط) . ولهذا السبب ، يكون طريقها متعرجا . ويبدو اثر هذه الحركة المتعرجة ، واضحا على سطح القرص .

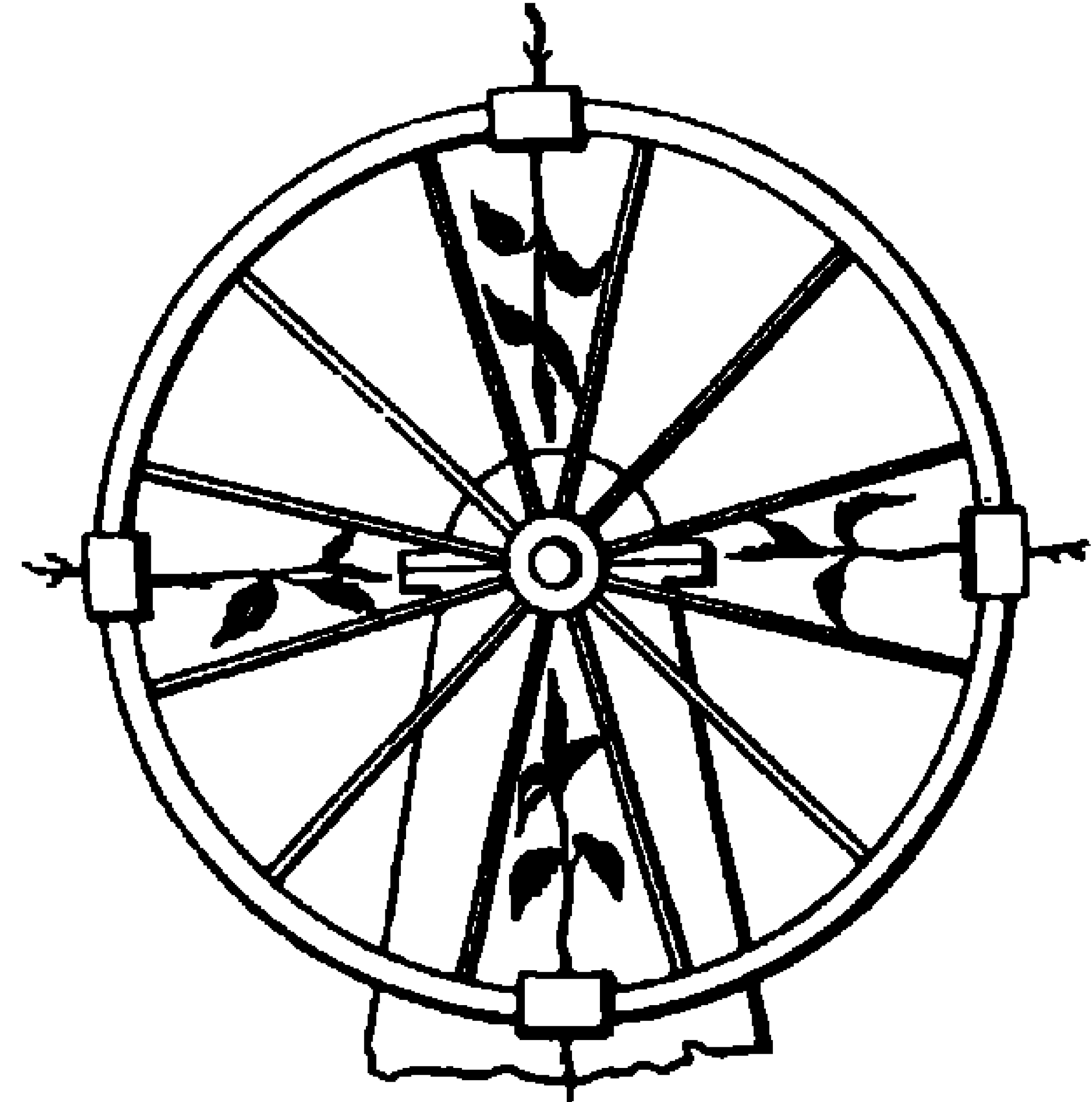
ويحدث نفس الشىء لتيارات الهواء المنطلقة من اماكن الضغط الجوى المرتفع (فى « الاعاصير المضادة ») او المتجهة نحو اماكن الضغط الجوى المنخفض (فى « الاعاصير الحلزونية ») .

ان خطوط الحبر الحلزونية هى صورة مصغرة لهذه الزوابع الهوائية الضخمة .

عندما يكون الدوران سريعا ، قد تصل القوة الطاردة المركزية الى حد كبير قد يفوق قوة الجاذبية . والتجربة الممتعة التالية ، تبيّن مدى ضخامة القوة الطاردة ، التى تنتج عند دوران الدولاب العادى .

اننا نعرف ان النباتات الحديثة العمر ، توّجه سيقانها فى اتجاه معاكس لقوة الجاذبية الارضية ، اى باختصار ، تنمو الى الاعلى . ولكن ، لنجعل البذور تطر ، عند وجودها على اطار عجلة سريعة الدوران ، كما فعل ذلك لاول مرة ، عالم النبات الانكليزى نايت قبل اكثر من مائة عام مضت . سترى شيئا مدهشا : سوف تتجه جذور الزريعة الى الخارج ، والسيقان الصغيرة الى الداخل بمحاذاة انصاف اقطار الدولاب (شكل٤٣).

لقد خدعنا النبات تماما . اذ اننا اثرنا عليه بقوة اخرى غير قوة الجاذبية الارضية ، وهى متجهة من مركز الدولاب الى الخارج . ولما كانت الزريعة تنمو دائما عكس اتجاه الجاذبية ، فانها فى هذه الحالة قد اتجهت الى داخل الدولاب من الاطار الى المحور (المركز) . وهكذا ظهر ان الجاذبية الاصطناعية اقوى من الجاذبية الارضية الحقيقية * ، وقد نما النبات الحديث العمر تحت تأثيرها .



شكل ٤٣ : بذور الفول النامية على حتار دولاب دوار . ان سيقان النبات متجهة نحو المحور ، اما الجذور فمتجهة الى الخارج .

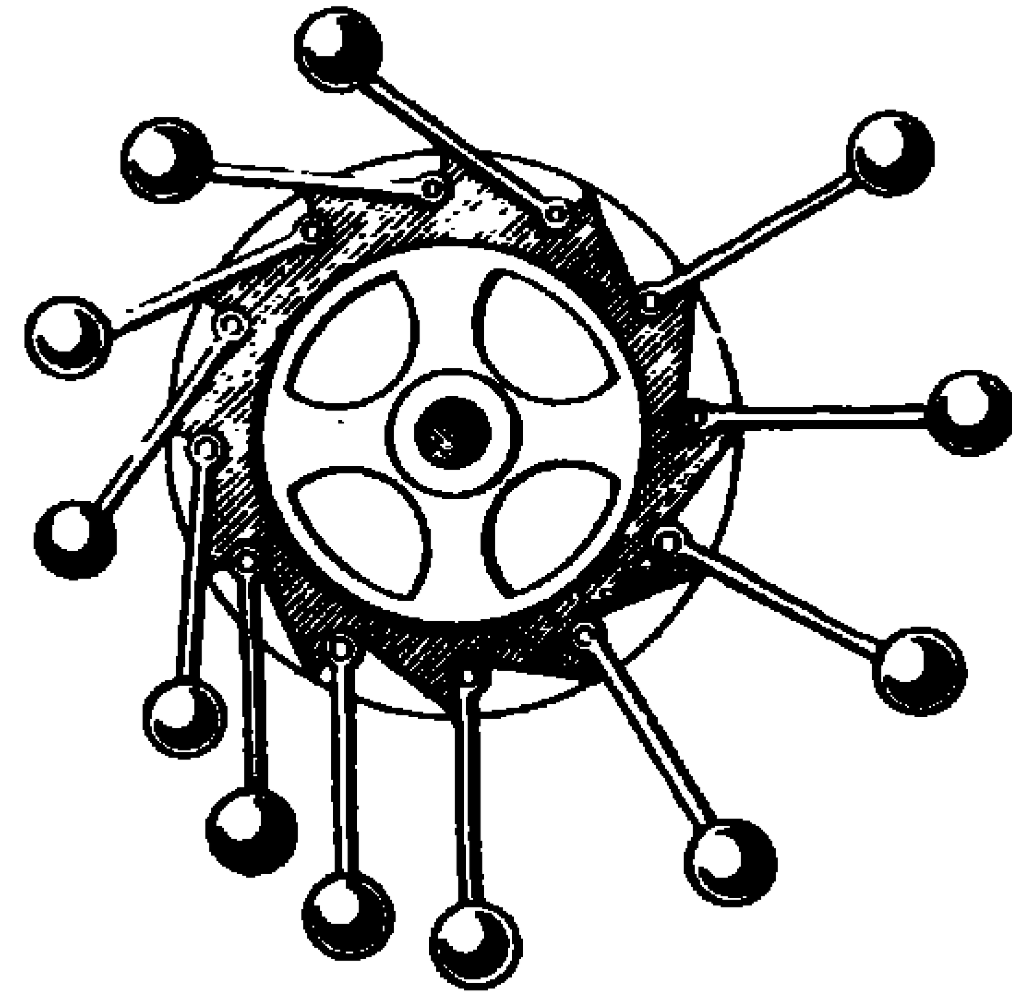
* وبالمناسبة فان نظرية الجاذبية الحديثة ، لا تتعارض مطلقا ، من حيث المبدأ ، مع ما جاء فى هذه التجربة من ايضاحات .

وفى المستقبل ، عندما تبدأ الرحلات الفضائية البعيدة الى كواكب اخرى من المنظومة الشمسية ، سوف يتم بموجب هذا المبدأ انشاء مستنبتات زجاجية على السفن الفضائية لتأمين الغذاء لملاّحى تلك السفن . واول من اقترح فكرة المستنبتات الزجاجية الفضائية عام ١٩٣٣ ، هو مؤسس علم الملاحة الفضائية ، العالم الروسى العظيم تسيولكوفسكى .

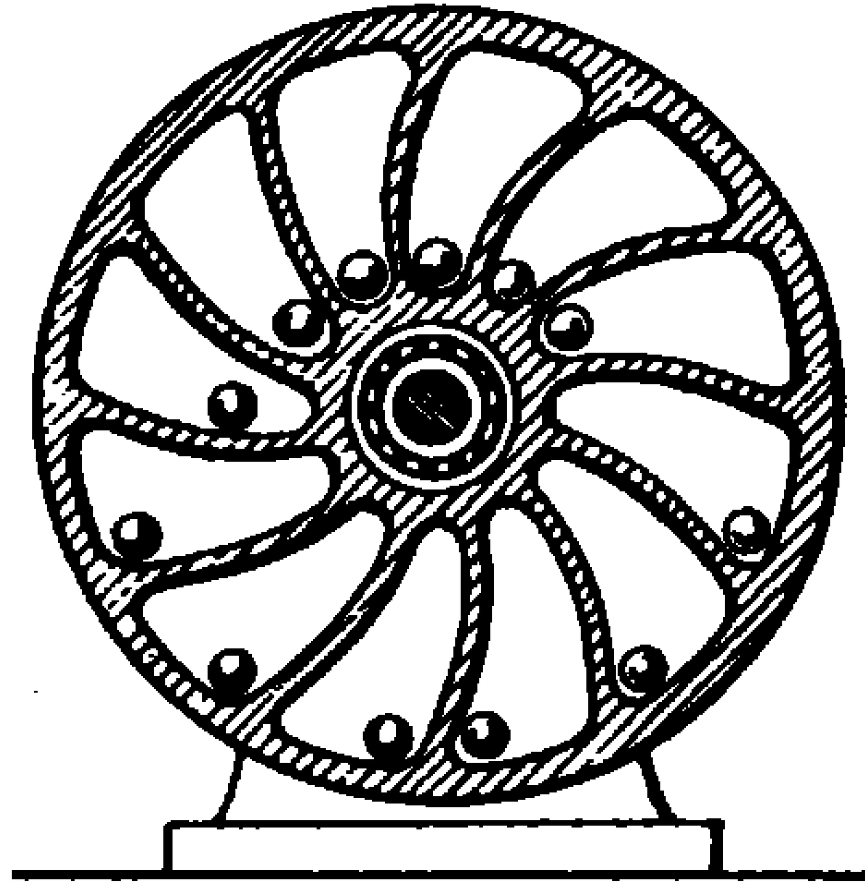
«المحركات الدائمة الحركة»

كثيرا ما يتحدث الناس عن كل من « المحرك الدائم الحركة » و« الحركة الدائمة » بالمعنيين الحرفى والمجازى . ولكن الجميع لا يدركون المعنى الحقيقى لما يراد بالتعبيرين المذكورين .

ان المحرك الدائم الحركة ، ما هو الا آلة وهمية ، تتحرك بنفسها حركة دائمية ، وتقوم بالاضافة الى ذلك ، بانجاز بعض الاعمال الاخرى النافعة (كرفع الاحمال مثلا). ولم يستطع احد ان يصنع مثل هذه الآلة ، مع ان محاولات اختراعها قد بدأت منذ زمن بعيد . وقد أدى عقم تلك المحاولات ، الى الاعتقاد الراسخ باستحالة وجود المحرك



شكل ٤٤ : عجلة ذات حركة دائمية موهومة ، ابتكرت فى القرون الوسطى .



شكل ٤٥ : محرك « دائم الحركة » يحتوى على كريات تتدحرج فى داخله .

الدائم الحركة ، والى وضع قانون حفظ الطاقة ــ اساس العلم الحديث . اما فيما يتعلق بالمحرك الدائم الحركة ، فيقصد به تلك الحركة الدائمية التى لا تنتج عملا .

ويوضح الشكل ٤٤ ، الآلة الذاتية الحركة ، الوهمية ــ احد اقدم التصاميم التى وضعت للمحرك الدائم الحركة ، الذى يحاول بعض المتعصبين الفاشلين فى عصرنا هذا ، ان يتحدثوا احيانا عن اعادة النظر فيه . لقد ثبتت حول محيط الدولاب قضبان قلاّبة ، وضعت فى اطرافها الحرة اثقال . وعند اى وضع للدولاب ، تصبح الاثقال الموجودة فى جهته اليمنى اكثر اندفاعا عن المركز من الاثقال الموجودة فى الجهة اليسرى . وبالتالى ، يتحتم على النصف الايمن دائما ان يسحب وراءه النصف الايسر ، وبذلك يجبر الدولاب على الدوران . يعنى ان الدولاب يجب ان يدور بصورة ازلية ، او على الاقل ، الى حين ان يبلى محوره . هكذا فكر المخترع . وبهذه المناسبة ، لو صنعنا مثل هذا المحرك ، فانه لن يدور . لماذا اذن لم يتحقق حساب المخترع ؟

السبب هو ، انه بالرغم من ان الاثقال الموجودة فى الجهة اليمنى تكون دائما ابعد عن المركز من الاثقال الموجودة فى الجهة اليسرى ، لا بد من حدوث الحالة التى يكون فيها عدد الاثقال فى الجهة اليمنى اقل مما هو عليه فى الجهة اليسرى . واذا نظرنا الى الشكل ٤٤ ، لرأينا وجود ٤ اثقال فى الجهة اليمنى و ٨ اثقال فى الجهة اليسرى. ويظهر ان النظام باجمعه فى حالة توازن ، ومن الطبيعى الا يدور الدولاب ، بل سيتأرجح عدة مرات ، ثم يتوقف فى مثل هذه الوضعية * .

والآن ، لا يمكن نقض ما اثبتناه بخصوص استحالة صنع الآلة التى تتحرك ذاتيا ، حركة دائمية ، وتقوم اثناء ذلك بانجاز عمل آخر . ومن العبث تماما ان يفكر الانسان بهذه المسألة . وفى العصور الماضية ، وخاصة فى القرون الوسطى ، اتعب الناس تفكيرهم بلا جدوى ، محاولين التوصل الى حل هذه المسألة ، وصرفوا كثيرا من وقتهم وجهودهم فى سبيل اختراع « المحرك الدائم الحركة » الذى يسمى باللغة اللاتينية (perpetuum mobile).

---

* يتم شرح حركة مثل هذا النظام بمساعدة ما يسمى بنظرية العزوم.

وقد كان الحصول على مثل هذا المحرك ، اكثر اغراء للناس ، حتى من عملية الحصول على الذهب من المعادن الرخيصة * .

وقد جاء ذكر احد هؤلاء الحالمين وهو بيرتولد فى رواية « عهود الفروسية » للشاعر الروسى العظيم الكسندر بوشكين الذى عاش فى القرن التاسع عشر .

يسأل مارتن زميله بيرتولد :

ــ ما هو المحرك الدائم الحركة ؟

فيجيبه بيرتولد قائلا :

ــ انه حركة دائمة الى الابد . فاذا حصلت على المحرك الدائم الحركة ، فسوف لا ارى حدودا لابداع الانسان .. الاترى يا صديقى العزيز مارتن ، ان صنع الذهب هو مسألة مغرية ، واكتشاف قد يكون طريفا ومربحا . اما الحصول على المحرك الدائم الحركة .. فهو امر رائع ! .

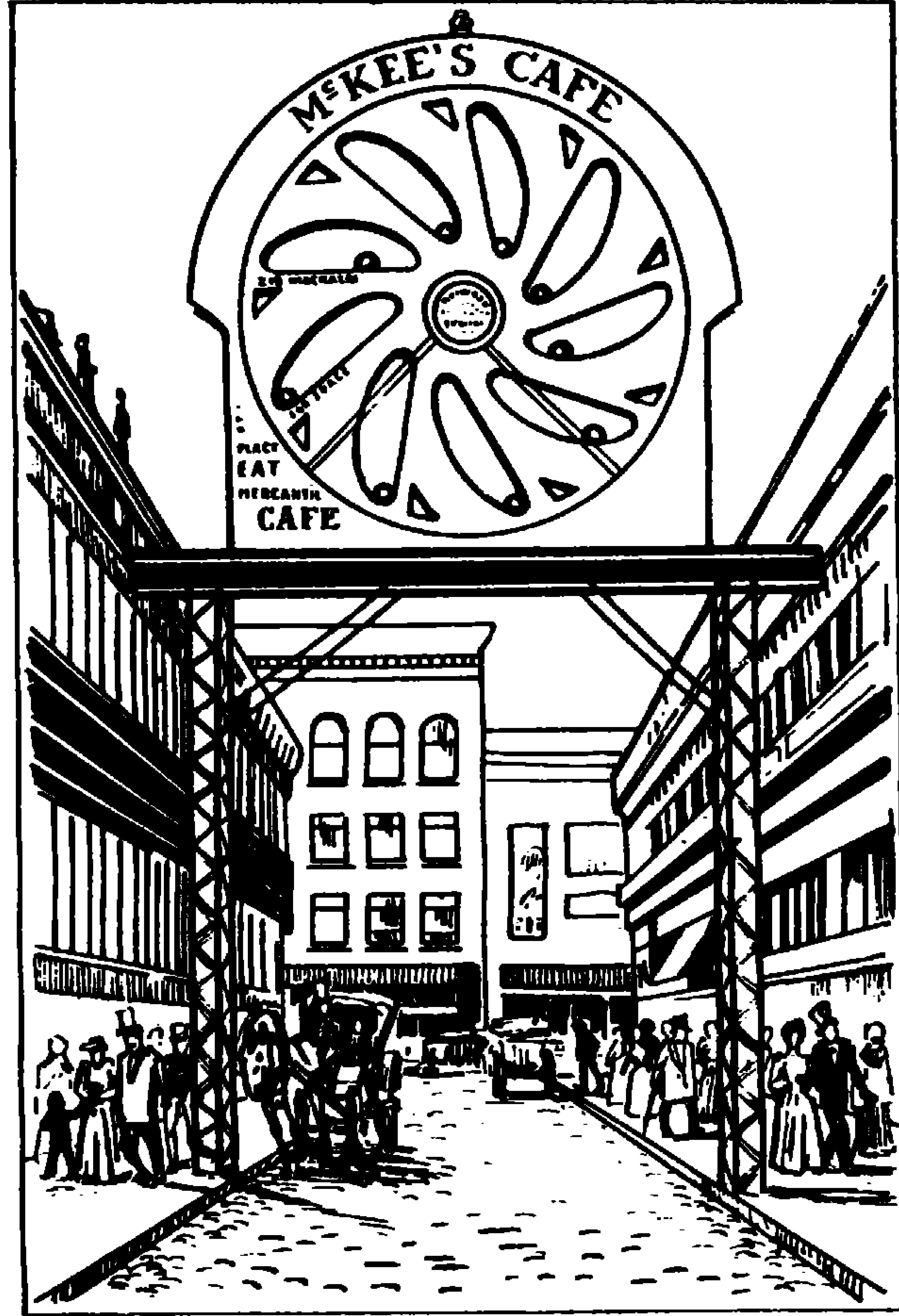
لقد صممت مئات الانواع من « المحركات الدائمة الحركة » ولكنها جميعا لم تتحرك . وفى كل حالة ، كما فى مثالنا السابق ، لم ينتبه المخترع الى عامل من العوامل ، الامر الذى أدى الى فشل جميع التصاميم .

وهذا نموذج آخر للمحرك الدائم الحركة المزعوم : دولاب يحتوى على كريات ثقيلة تتحرك فى داخله (شكل ٤٥) . لقد تصور المخترع ان الكريات الواقعة فى احدى جهتى الدولاب قريبا من المحيط ، تؤثر بثقلها على الدولاب وتجبره على الدوران .

ومن البديهى ان ذلك لن يحدث ، لنفس السبب الذى ذكرناه فى حالة الدولاب المبين فى الشكل ٤٤ . غير انه تمّ فى احدى مدن امريكا ، اقامة دولاب ضخم جدا ، من هذا النوع بالذات (شكل ٤٦) لغرض الدعاية ولفت انظار الناس الى احدى المقاهى . وبطبيعة الحال فقد كان هذا « المحرك الدائم الحركة » يدار بواسطة آلة اخرى اخفيت عن الناس بصورة فنية ، مع ان المشاهدين كانوا يتصورون ان الكريات الثقيلة المتدحرجة

---

* وذلك بواسطة ما يسمى عند العرب بحجر الفلاسفة (المعرب) .



شكل ٤٦ : محرك « دائم الحركة » نصب فى مدينة لوس انجلس (كاليفورنيا) ، لغرض الدعاية .

فى ثنايا الدولاب ، هى التى تحركه . وقد وجدت نماذج اخرى مزعومة للمحرك الدائم الحركة شبيهة بما ذكر اعلاه ، وضعت فى وقت ما فى واجهات محلات بيع الساعات ، لجلب انتباه الناس ، وكانت جميعها تدار بالتيار الكهربائى .

وفى احد الايام ، سبب لى احد محركات الدعاية هذه ، ازعاجا كبيرا * . لقد

* هنا يتحدث المؤلف عن نفسه .

اعجب تلاميذى بهذا المحرك اعجابا كبيرا ، الى حد لم يصدقوا معه كل ما اثبته لهم من استحالة صنع المحرك الدائم الحركة . ان منظر الكريات وهى تتدحرج فتحرك الدولاب ، الذى يرفعها بدوره الى الاعلى ، كان اكثر اقناعا لهم من البراهين التى قدمتها ؛ ولم يصدقوا بان هذه الآلة الميكانيكية العجيبة تدار بالتيار الكهربائى . والامر الوحيد الذى انقذنى ، هو علمى بان التيار الكهربائى عندئذ ، كان ينقطع عن المحلات المذكورة فى ايام العطل وقد انتهزت هذه الفرصة ، ونصحت تلاميذى بزيارة واجهات تلك المحلات فى الايام المذكورة . وقد عمل التلاميذ بنصيحتى . وسألتهم بعد ذلك :

– والآن ، هل رأيتم المحرك ؟

فاجابنى التلاميذ بارتباك :

– لا لم نره ، فقد كان مغطى بجريدة ...

وهكذا ، فقد عادت الى التلاميذ ثقتهم بقانون حفظ الطاقة . ولن يتخلوا عن هذه الثقة بعد الآن .

صعوبة غير متوقعة

لقد اجتهد كثير من المخترعين الروس المتعلمين بانفسهم ، فى حل المسألة المغرية « للمحرك الدائم الحركة » . واحد هؤلاء ، هو الفلاح السيبيرى الكسندر شيجلوف ، المعروف باسم « البرجوازى الصغير بريزينتوف» فى رواية الكاتب الروسى الشهير سالتيكوف شيدرين ، المعنونة بـ « الحياة العصرية المسالمة » . واليكم ما يقوله الكاتب عن زيارته لورشة ذلك المخترع :

« كان البرجوازى بريزينتوف فى الخامسة والثلاثين من عمره ، ضعيفا ممتقع اللون ، وله عينان واسعتان مستغرقتان فى التأمل ، وقد تدلت جدائل شعره الطويل باستقامة حول رقبته . وكان منزله الريفى واسعا الى حد كاف . الا ان نصفه تماما كان مشغولا بدولاب موازنة كبير (حذافة كبيرة) ، بحيث لم يتسع لنا المنزل الا بصعوبة . وكان الدولاب يحتوى على برامق (صنّارات) ، وله اطار واسع جدا ، مصنوع من الواح

خشبية مرصوصة مع بعضها مثل الصندوق الفارغ . وفي داخل هذا الصندوق الفارغ حفظت الآلة ، التي كانت بمثابة سر المخترع . ولم يكن في السر تعقيد خاص ، وكل ما في الامر ، وجود اكياس من الرمل تعمل على موازنة بعضها البعض . وقد ادخلت عصا في احد البرامق ، لكي تجعل الدولاب يقف ساكنا .

وبدأت الحديث متسائلا :

ــ سمعنا انكم طبقتم عمليا قانون الحركة الدائمة ، فهل هذا صحيح ؟

فاجابني مرتبكا :

ــ لست ادري ماذا اقول ، يبدو انني قد فعلت ذلك .

فاستدركته قائلا :

ــ هل يمكننا الاطلاع على ذلك ؟

فاجابني :

ــ نعم ، وساكون سعيدا لو فعلتم ذلك ...

ثم قادنا نحو الدولاب وجعلنا نتجول حواليه ، فظهر ان هناك دولابا من كلتا الجهتين الامامية والخلفية .

ــ هل يدور الدولاب ؟

ــ يجب ان يدور ، ولكنه على ما يبدو متقلب الاطوار ... ويجب ان يتشاقى ..

ــ هل يمكننا سحب العصا ؟

وهنا سحب بريزنتوف العصا .. ولكن الدولاب لم يتحرك :

فقال ثانية :

ــ انه يتشاقى .. وهو بحاجة الى زخم .. ثم امسك الاطار بكلتا يديه واداره عدة مرات الى الاعلى والاسفل ، واخيرا رجّحه بقوة وتركه . فأخذ الدولاب يدور . قام الدولاب بعدة دورات سريعة وسلسة . وكنا نسمع كيف كانت اكياس الرمل داخل الاطار تستقر فوق الحواجز ثم تبتعد عنها ، وهكذا دواليك .. الى ان اصبح الدولاب يبطئ في دورانه شيئا فشيئا . ثم سمعنا اصوات قرقعة وصرير .. واخيرا توقف الدولاب نهائيا .

ثم قال المخترع بارتباك وهو يوضح :
ـ لا بد ان هناك شيئا ما ، ثم اعاد تدوير الدولاب مرة ثانية .
وقد حدث في هذه المرة ايضا ، نفس الشيء الذى حدث في المرة الاولى .
فقلت متسائلا :
ـ ربما لم تأخذوا الاحتكاك في نظر الاعتبار عند التصميم ؟
فاجابني قائلا :
ـ والاحتكاك ايضا أخذ بنظر الاعتبار .. مهلا .. الاحتكاك ؟ ! ليس هذا الخلل بسبب الاحتكاك .. بل لسبب مجرد .. انه يجعلك مسرورا لوقت ما ، وبعد ذلك يبدأ فجأة بالقرقعة والصرير ـ وينتهي كل شيء . تمنيت لو كان الدولاب مصنوعا من مادة جيدة وليس من نفايات (قراضات) .

وبطبيعة الحال ، لم يكن الامر متعلقا بـ « الخلل » او بـ « المادة الجيدة » بل كان يتعلق بعدم صحة الفكرة الاساسية لتصميم الآلة . لقد دار الدولاب قليلا ، نتيجة « للزخم » او الدفعة ، التي تلقاها من المخترع ، وكان لا بد له من التوقف بعد ان صرفت الطاقة التي اتته من الخارج ، في التغلب على الاحتكاك .

القوة الرئيسية تكمن في الكرات

ويتحدث الكاتب الروسي كارونين في قصته المعنونة « المحرك الدائم الحركة » ، عن مخترع روسي آخر لهذا المحرك ، وهو فلاح من مقاطعة بيرم اسمه لافرينتي جولديريف (متوفى عام ١٨٨٤) ، قدمه كارونين في قصته باسم بيختين .

ان كارونين ، الذى وصف الآلة بصورة مفصّلة ، كان يعرف المخترع شخصيا ، ويقول في معرض الحديث :

« انتصبت امامنا آلة غريبة كبيرة الحجم ، تبدو لاول وهلة كالآلة التي تنّعل بها الخيول ، وتراءت امامنا بعض الاعمدة والعوارض الخشبية السيئة القشط ، ومجموعة

كاملة من الحذافات والعجلات المسننة ، وكانت كلها سمجة وخشنة وقبيحة المنظر . وهناك في الاسفل تماما ، ظهرت بعض الكرات الحديدية الملقاة على الارض ، وكان يوجد على بعد قليل كوم كاملة من تلك الكرات .

وسأل رئيسنا المخترع :

ـ هل هذه هي الآلة ؟

ـ نعم ، هي بالذات ..

ـ طيّب .. وهل تدور ؟

ـ وكيف لا .. انها تدور بالطبع ..

ـ وهل تملك حصانا لكي يديرها ؟

فاجاب بيختين :

ـ وما فائدة الحصان ؟ انها تدور بنفسها .

قال ذلك وأخذ يطلعنا على تركيب هذه الآلة العجيبة .

ان الكرات الحديدية التي كانت مكوّمة على الارض ، هي التي لعبت الدور الرئيسي في الموضوع . ثم استطرد بيختين قائلا :

ـ ان القوة الاساسية تكمن في هذه الكرات .. انظروا ههنا . ان الكرة تصطدم اول الامر بهذه المغرفة .. ومنها تنطلق مثل البرق خلال هذا المجرى . وهناك تتلقفها هذه المغرفة فتطير كالمجنون الى ذلك الدولاب ، وتصدمه ثانية صدمة قوية بحيث تجعله يصخ . واثناء طيران هذه الكرة ، تكون هناك كرة اخرى في طريقها الى نفس العمل .. حيث تطير مرة اخرى وتصطدم هنا ، ثم تنطلق خلال المجرى وتتلقفها المغرفة فتقذفها نحو الدولاب وتصدمه ثانية .. وهلم جرا . هكذا تعمل هذه الآلة ، والآن ساجعلها تدور.

وهنا أخذ بيختين يذرع السقيفة ذهابا وايابا ليجمع الكرات المبعثرة بسرعة . واخيرا ، جمعها وكوّمها بالقرب منه ، ثم تناول احداها بيده وقذفها بقوة في اقرب مغرفة من الدولاب ، ثم قذف الكرة الثانية والثالثة .. وهكذا . وهنا حدثت ضوضاء لا يمكن تصورها نتيجة لقعقعة الكرات عند اصطدامها بالمغارف الحديدية ،/ ولصرير الدولاب

الخشبي ، بالاضافة الى زحير الاعمدة . وقد ملأ كلّ هذا الضجيج الجهنمي ، ارجاء ذلك المكان شبه المظلم » .

وقد أكد كارونين بان آلة جولدبريف تحركت . وما هذا الا سوء فهم واضح . يحتمل ان الآلة قد دارت ، عندما هبطت الكرات المرفوعة الى الاسفل — فقد كان باستطاعتها عندئذ تحريك الدولاب ، مثل اثقال الساعة الحائطية ، وذلك على حساب الطاقة الكامنة فى الكرات اثناء رفعها الى الاعلى . ان مثل هذه الحركة لن تستمر طويلا : عندما تكون كافة الكرات المرفوعة الى الاعلى سابقا ، والمصطدمة بالمغارف ، قد استقرت فى الاسفل ، تتوقف الآلة عن الحركة ، اذا لم تكن قد توقفت قبل ذلك نتيجة لمقاومة كافة تلك الكرات ، التى كان على الآلة ان ترفعها .

وبعد فترة من الزمن ، خاب امل المخترع نفسه بآلته التى اخترعها ، وذلك عندما عرضها امام الجمهور فى معرض اقيم فى مدينة اكاترينبرج ، وشاهد فى نفس المعرض مكنات صناعية حقيقية . وعندما سئل عن « محركه الدائم الحركة » ، اجاب مكتئبا : لتذهب الى الشيطان . اذا اردتم ، فسوف احطمها واجعل منها وقودا للنار .

مركّم اوفيمتسيف

لقد بيّن الجهاز الذى يسمى بمركم اوفيمتسيف للطاقة الميكانيكية ، انه من السهولة الوقوع فى الخطأ ، اذا ما حكمنا على الحركة « الدائمة » بمنظرها الخارجي .

لقد ابتكر اوفيمتسيف ، وهو مخترع من مدينة كورسك فى الاتحاد السوفييتى نوعا جديدا من محطات توليد القدرة التى تدار بطواحين الهواء ، ذات مركّم بالقصور الذاتى ، رخيص الكلفة ، ومبنى على غرار العجلة الحذّافة . لقد قام اوفيمتسيف عام ١٩٢٠ بصنع نموذج لذلك المركّم ، على هيئة قرص يدور على محور رأسى بمحمل كريات ، وموضوع فى داخل غلاف مفرغ من الهواء . وبعد ان ادير القرص بسرعة ٢٠٠٠٠ دورة / دقيقة ، استمر فى الدوران لمدة ١٥ يوما . وبملاحظة محور مثل هذا القرص وهو يدور لعدة ايام بكاملها دون تزويده بطاقة من الخارج ، يعتقد الانسان البسيط (السطحى النظرة) بان امامه تصميما حقيقيا للمحرك الدائم الحركة .

ان البحث اليائس عن المحرك « الدائم الحركة » ، جعل كثيرا من الناس تعساء للغاية . لقد تعرفت قبل الثورة * على عامل انفق كافة رواتبه ومدخراته النقدية ، على صنع نموذج للمحرك « الدائم الحركة » ، الى ان اصبح بنتيجة ذلك فى حالة من الفقر المدقع . وقد بات بذلك ضحية لافكاره التى لا يمكن تحقيقها . وكان يسير شبه عار ، وهو جائع على الدوام ، يطلب من جميع الناس ان يمنحوه شيئا من النقود لبناء « النموذج النهائى » الذى « سيتحرك حتما » لقد كان من المؤسف حقا ، الاعتراف بان هذا الشخص قاسى الحرمان لسبب واحد فقط ، هو جهله للمبادئ الاساسية للفيزياء .

والشىء الطريف هنا ، هو انه اذا كان البحث عن المحرك « الدائم الحركة » ، عقيما فى جميع الاحوال ، فانه على العكس من ذلك ، كثيرا ما أدى الادراك العميق لاستحالته ، الى اكتشافات مثمرة .

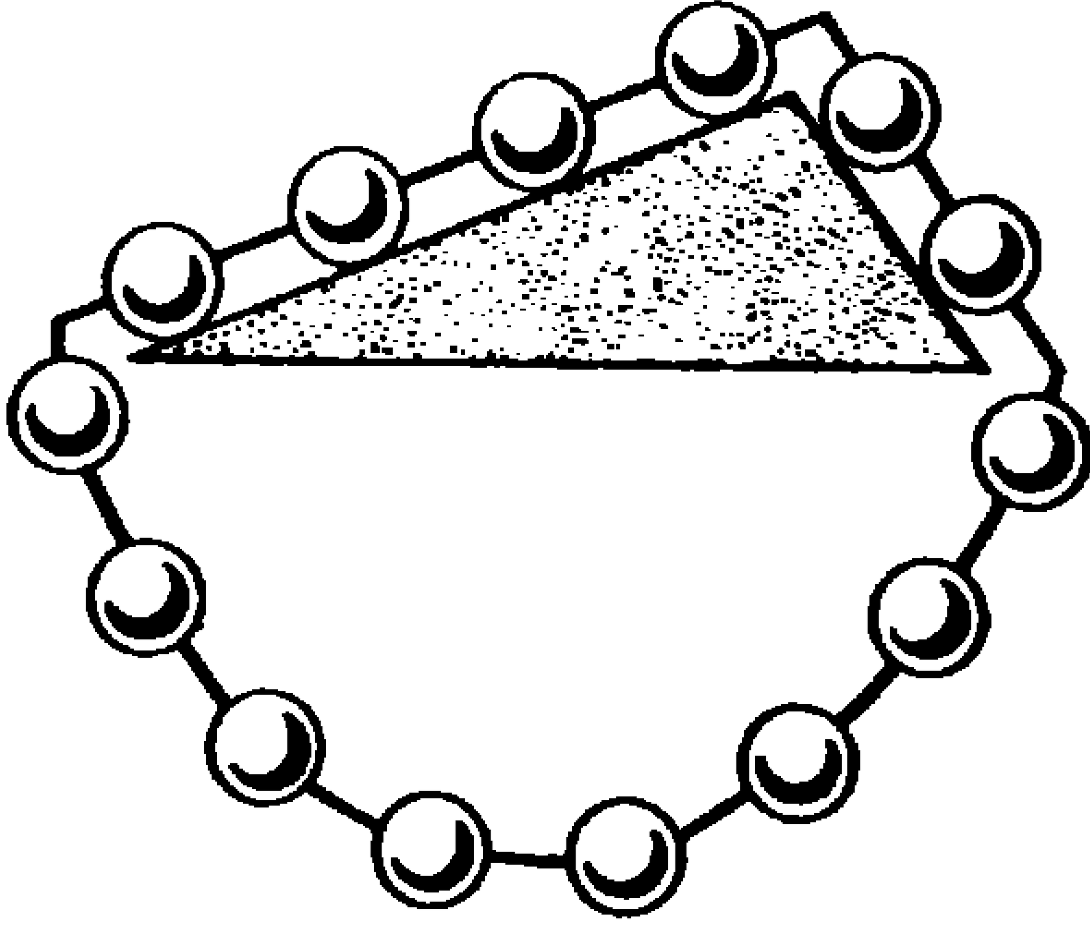
واروع مثال على ذلك ، هى تلك الطريقة التى مكنت العالم الهولندى البارز ستيفن من اكتشاف قانون توازن القوى على السطح المائل ، وقد عاش ستيفن فى الفترة الواقعة بين نهاية القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر . ان هذا العالم الرياضى يستحق من الشهرة اكثر مما ناله ، لانه قام بكثير من الاكتشافات العلمية المهمة ، التى تستخدم الآن باستمرار : فقد استنبط الكسور العشرية ، وادخل مقامات الكسور فى علم الجبر ، واكتشف القانون الايدروستاتى ، الذى قام العالم باسكال بوضعه فيما بعد .

لقد اكتشف ستيفن قانون توازن القوى على السطح المائل ، دون الاعتماد على قاعدة متوازى اضلاع القوى ، بل بمساعدة الرسم المبيّن فى الشكل ٤٧ . لنضع سلسلة تتألف من ١٤ كرة صغيرة متساوية الحجم ، حول موشور ثلاثى . ماذا يحدث لهذه السلسلة ؟ ان القسم السفلى ، المتدلى كضفيرة زهور ، يتوازن بنفسه . ولكن هل يوازن

---

* ثورة اكتوبر الاشتراكية العظمى .

القسمان الباقيان بعضهما البعض ؟ وبعبارة اخرى ، هل توازن الكرتان الواقعتان فى الجهة اليمنى ، الكرات الاربع الواقعة فى الجهة اليسرى ؟ حتما ، والا لتحركت السلسلة من نفسها حركة مستمرة من اليمين الى اليسار . لانه فى كل مرة ، ستحل كرات جديدة محل الكرات المتزلقة ، ولن يعود التوازن مرة اخرى ابدا . ولكن ، بما اننا نعلم بان السلسلة الموضوعة بالطريقة المبينة ، لن تتحرك من تلقاء ذاتها ابدا ، فمن الواضح ان الكرتين الاوليتين ، تتوازنان مع الكرات الاربع الموجودة فى الجهة اليسرى . يبدو كأن فى الامر معجزة : قوة شد الكرتين تساوى قوة شد الكرات الاربع .



شكل ٤٧ : « معجزة وليست معجزة ».

ومن هذه المعجزة ، استطاع ستيفن ان يحصل على قانون مهم فى علم الميكانيكا . وقد ناقش المسألة بالشكل التالى : ان لفرعى السلسلة — الطويل والقصير - وزنين مختلفين ، ويزيد وزن احدهما على وزن الثانى بعدد من المرات ، يساوى عدد مرات زيادة ضلع الموشور الطويل على ضلعه القصير . وينتج من ذلك ، ان اى ثقلين مربوطين بحبل ، يتوازنان مع بعضهما عند وضعهما على سطحين مائلين ، اذا تناسب وزناهما مع طولى السطحين المائلين .

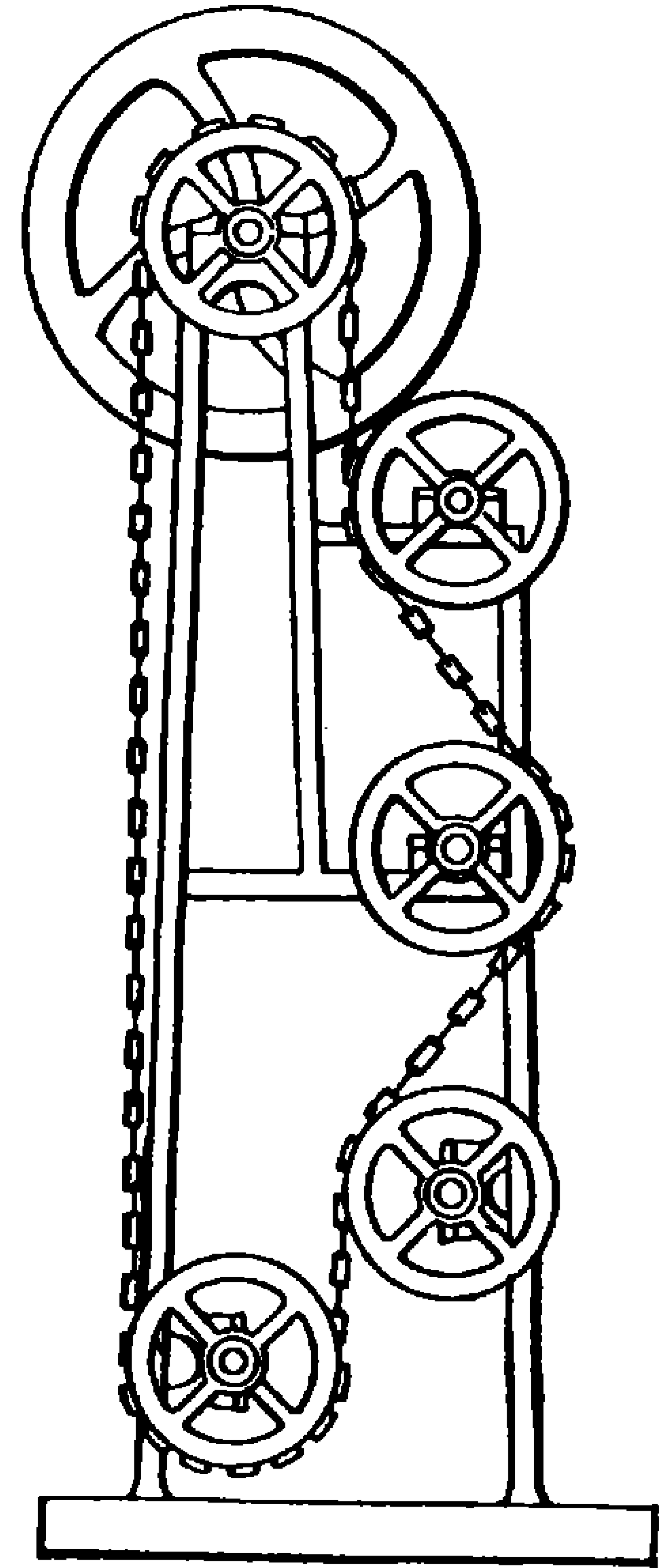
وفى الحالة الخاصة ، التى يكون فيها السطح القصير عموديا ، نحصل على قانون مشهور من قوانين الميكانيكا ، وهو : لكى يقف الجسم على سطح مائل ، يجب ان تؤثر فى اتجاه ذلك السطح ، قوة تقل عن وزن الجسم بعدد من المرات ، يساوى عدد مرات زيادة طول السطح على ارتفاعه .

وهكذا ، أدت الفكرة القائلة باستحالة المحرك الدائم الحركة ، الى اكتشاف هام فى علم الميكانيكا .

عدد آخر من «المحركات الدائمة الحركة»

يبين الشكل ٤٨ سلسلة ثقيلة تمر خلال عجلات ، بحيث يكون نصفها الايمن اطول من النصف الايسر فى جميع الاحوال . وينتج – من وجهة نظر المخترع – ان النصف الايمن للسلسلة ، يجب ان يكون فى حالة توازن مع النصف الايسر ، فيهبط الى الاسفل باستمرار ، وبذلك يجعل الآلة (العجلات) تتحرك برمتها . ولكن هل يحدث ذلك بالفعل ؟

ان ذلك لا يحدث بالطبع . وقد عرفنا مما سبق ، ان السلسلة الثقيلة قد تتوازن مع السلسلة الخفيفة ، اذا كانت القوى المسلطة عليهما ، مختلفة الميل . اما فى هذه الآلة ، فان السلسلة اليسرى مشدودة عموديا ، والسلسلة اليمنى مائلة . ولذلك ، فمع انها اثقل ، لكنها لا تسحب السلسلة اليسرى . وهكذا لا يمكن فى هذه الحالة الحصول على المحرك « الدائم الحركة » الذى توخيناه .



شكل ٤٨ : هل هذا محرك دائم الحركة ام لا ؟

ولعل اظرف هؤلاء المخترعين ، كان صاحب المحرك « الدائم الحركة » الذى عرض فى ستينيات القرن الماضى ، فى معرض باريس . كان المحرك يتألف من دولاب كبير ، يحتوى على كرات تتدحرج فى داخله . وبهذه المناسبة ، فقد أكد المخترع انه لا يوجد انسان فى العالم ، باستطاعته ايقاف حركة ذلك الدولاب . وقد حاول زوار المعرض واحد بعد الآخر ، ان يوقفوا الدولاب ، ولكن الدولاب كان يعاود الحركة دون ابطاء حالما ترفع عنه الايدى . ولم يخطر ببال احد، ان الدولاب يدور بفضل محاولة

الزوار ايقافه بالذات . وذلك لانهم عندما يدفعونه الى الوراء ، فانهم بذلك يدوّرون الزنبرك الخاص بالآلة المخفية بمهارة ...

«المحرك الدائم الحركة» الذى اراد ان يقتنيه قيصر روسيا بطرس الاول

يحفظ الارشيف الآن ، تلك الرسائل الحماسية التى حررها قيصر روسيا بطرس الاول فى الفترة الواقعة بين عامى ١٧١٥ — ١٧٢٢ ، عندما اراد الحصول من المانيا على محرك دائم الحركة ، ابتكره شخص يدعى الدكتور اورفيريوس .

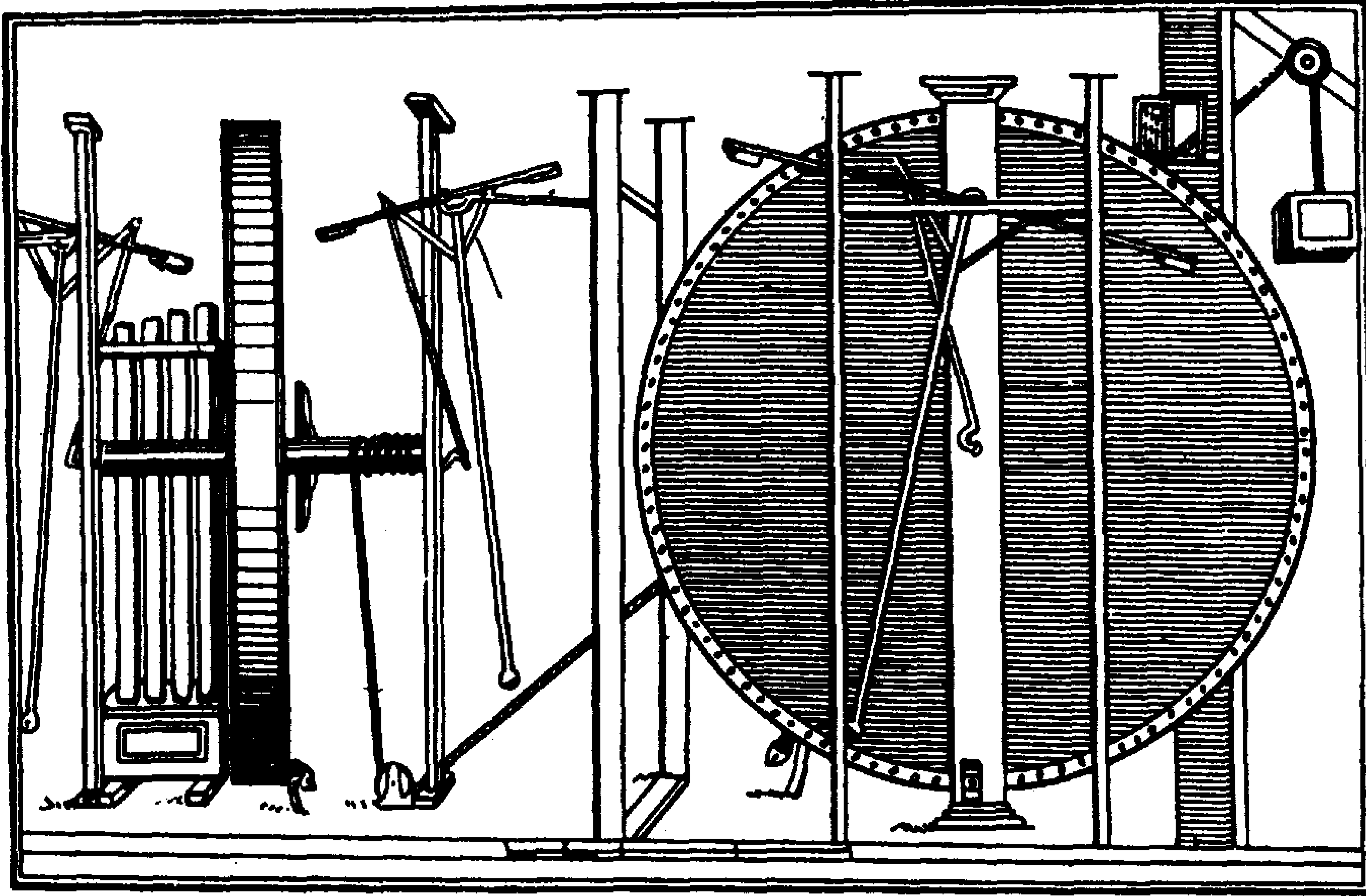
وقد وافق المخترع ، الذى اشتهر فى كافة انحاء المانيا « بدولابه الذاتى الحركة » على بيع آلته للقيصر ، مقابل مبلغ طائل من المال . وكان القيصر قد ارسل الى الغرب عالما يدعى شوماخير ، لجمع الاشياء النادرة ، وطلب منه التفاوض مع الدكتور اورفيريوس حول شراء الآلة . ولما عاد الى روسيا قدم تقريرا الى القيصر ، عن نتيجة مفاوضاته مع اورفيريوس ، جاء فيه : « لقد كانت العبارة الاخيرة التى تفوه بها المخترع هى : اذا دفعتم ما يعادل ١٠٠ الف روبل ، فسوف تحصلون على الآلة » .

اما الآلة نفسها ، فقد قال عنها المخترع ، كما ذكر شوماخير : « انها مضبوطة ، وليس فى استطاعة احد ان يذمّها ، الا اذا كان سيئ الخلق ، والدنيا مليئة بالاشرار الذين لا يمكن تصديقهم باى حال من الاحوال » .

وقد تهيأ القيصر بطرس الاول ، فى يناير (كانون الثانى) عام ١٧٢٥ ، للسفر الى المانيا ليطلع بنفسه على « المحرك الدائم الحركة » الذى كثر الحديث عنه ، ولكن موت القيصر منعه من تحقيق رغبته .

من كان ذلك الشخص الغامض ، الدكتور اورفيريوس ، وكيف كان شكل « آلته المشهورة » ؟ لقد تمكنت من الحصول على معلومات عن المخترع وآلته .

كان اللقب الحقيقى لاورفيريوس هو بيسلير ، وقد ولد فى المانيا عام ١٦٨٠ ، وانكبّ على دراسة اللاهوت والطب والرسم ، واخيرا كرس جهوده لاختراع المحرك



شكل ٤٩ : دولاب اورفيريوس الذاتي الحركة ، الذى اراد القيصر الروسى بطرس الاول ان يحصل عليه (الصورة مأخوذة عن رسم قديم) .

«الدائم الحركة» . وقد كان اورفيريوس اشهر مخترع من بين اولئك المخترعين ، الذين وصل عددهم الى عدة آلاف ، وربما كان اكثرهم حظا . لقد عاش حتى نهاية عمره (توفى عام ١٧٤٥) ، حياة مرفهة من الريع الذى كان يحصل عليه كلما عرض آلته على الجماهير .

ان الرسم المبين فى الشكل ٤٩ ، المأخوذ من كتاب قديم جدا ، يوضح الشكل الذى كانت عليه آلة اورفيريوس فى عام ١٧١٤ . ويظهر فى الرسم دولاب كبير ، يبدو وكأنه يقوم بالاضافة الى الدوران الذاتى ، برفع حمل ثقيل الى ارتفاع كبير .

ان شهرة هذا الاختراع المدهش ، الذى عرضه الدكتور العالم بادئ الامر فى الاسواق الدورية ، انتشرت فى المانيا ، وسرعان ما ظهر لاورفيريوس انصار اقوياء جدا .

فقد اظهر ملك بولونيا اهتمامه به ، وكذلك فعل النبيل الالمانى هيسن - كاسيلسكى ، الذى وضع قصره تحت تصرف المخترع واخضع الآلة لمختلف التجارب .

وفى ١٢ نوفمبر (تشرين الثانى) عام ١٧١٧ ، ادير المحرك بعد ان وضع فى غرفة منعزلة ، واقفلت الغرفة من الخارج وختمت ، ثم عهد بحراستها الى جنديين يقظين من الفرقة الخاصة . ومضت مدة اربعة عشر يوما ، ولم يسمح لا حد مطلقا ، بالاقتراب من الغرفة التى كان المحرك يدور فى داخلها . وفى ٢٦ نوفمبر ، نزع الختم عن الغرفة ، ودخلها النبيل بصحبة حاشيته ، فوجدوا ان الدولاب لا يزال على دورانه « بنفس السرعة السابقة » . فاوقفوا الآلة وفحصوها فحصا دقيقا ، وبعد ذلك اداروها مرة ثانية . ثم اقفلت الغرفة مرة اخرى وختمت ، ووضعت تحت حراسة مشددة لمدة اربعين يوما . وعندما فتحت من جديد فى ٤ يناير (كانون الثانى) ١٧١٨ ، من قبل لجنة من الخبراء ، كان الدولاب مستمرا فى دورانه .

ولكن النبيل مع هذا لم يكن مرتاحا لذلك ، وامر باعادة التجربة للمرة الثالثة ، وذلك بوضع المحرك فى داخل الغرفة واختباره لمدة شهرين كاملين . ومع ذلك ، فبعد مرور تلك المدة ، وجد ان المحرك لا يزال على حركته .

واستلم المخترع من النبيل المعجب ، شهادة تثبت ان « المحرك الدائم الحركة » الذى اخترعه ، يقوم بـ ٥٠ دورة / دقيقة ، ويمكنه رفع ١٦ كجم الى ارتفاع قدره ٥ر١ م ، ويستطيع كذلك تشغيل منفاخ الحداد وآلة الشحذ . وقد تجول اورفيريوس فى اوروبا ، حاملا الشهادة فى حقيبته .

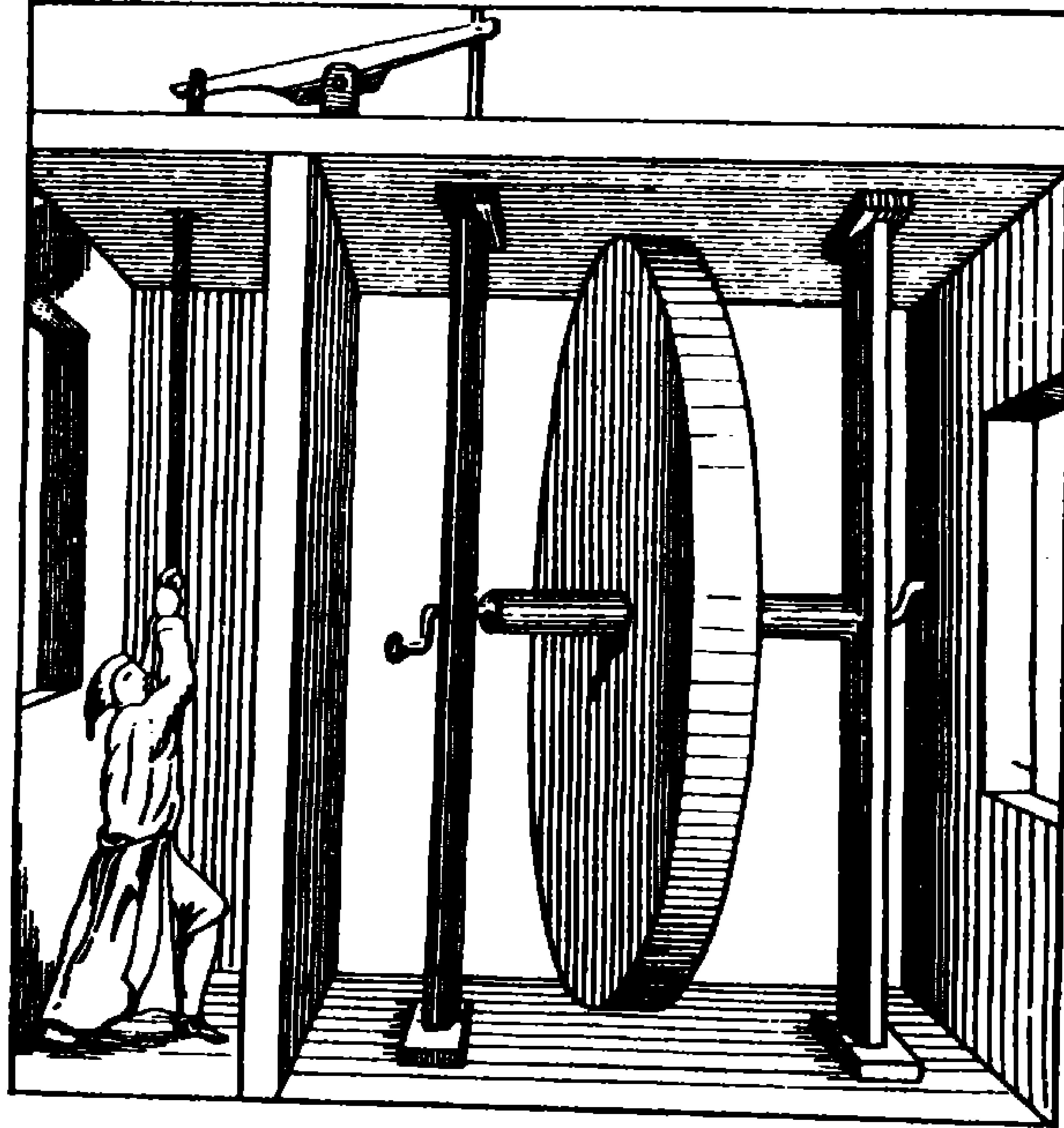
ومن المرجّح انه حصل على دخل لا يستهان به ، وذلك لانه رفض ان يبيع آلته الى القيصر بطرس الاول باقل من ١٠٠ الف روبل . وقد انتشر خبر هذا الاختراع المدهش للدكتور اورفيريوس فى اوربا بسرعة ، وتوغل بعيدا خارج حدود المانيا ، حتى وصل الى بطرس الاول ، وهو الرجل الذى كان شديد الحرص على اقتناء كافة الاشياء النادرة والطريفة .

لقد اهتم بطرس الاول بدولاب اورفيريوس منذ عام ١٧١٥ ، اثناء وجوده خارج روسيا ، وقد عهد آنذاك الى الدبلوماسي الشهير اوسترمان ، بالتحرى عن ذلك الاختراع تحريا دقيقا . وقام اوسترمان فى الحال بارسال تقرير مفصل عن المحرك ، بالرغم من انه لم يتمكن من مشاهدة الآلة بالذات . حتى ان بطرس الاول اراد ان يدعو اورفيريوس للعمل فى عهدته ، باعتباره مخترعا موهوبا ، وطلب من الفيلسوف المشهور فى ذلك الوقت خريستيان فولف (معلم لومونوسوف) ان يبدى رأيه فى اورفيريوس .

وتلقى المخترع اقتراحات مرضية من مختلف الجهات . وقد انهال عليه الملوك والامراء بالمنح والمكافآت ، والفّ الشعراء قصائد واناشيد يصفون فيها آلة المخترع ويفتخرون بها . ولكن وجد بعض المعادين ، الذين اعتبروا اورفيريوس دجّالا . وقد ظهر منهم من تجرأ على اتهام اورفيريوس بالدجل والشعوذة علنا ، وعرض جائزة قدرها ١٠٠٠ مارك لمن يستطيع فضح اورفيريوس . ويبيّن الشكل ٥٠ ، احد الرسوم التى نشرت للتعريض باورفيريوس وفضحه . ان سر « المحرك الدائم الحركة » كما ظنّ صاحب الرسم المبيّن اعلاه ، يكمن ببساطة ، فى وجود شخص مختف بحذاقة ، يسحب حبلا ملفوفا حول ذلك الجزء من محور الدولاب ، الذى اخفى فى داخل الاعمدة الساندة .

وقد افتضح الدجل الحاذق صدفة ، لسبب واحد فقط ، هو ان الدكتور اورفيريوس تخاصم مع كل من زوجته وخادمته ، اللتان كانتا قد اطلعتا على سرّه . ولولا ذلك ، لكان من المحتمل ان نبقى حتى الآن فى حيرة من ذلك « المحرك الدائم الحركة » الذى كثرت حوله الاقاويل .

لقد ظهر ان « المحرك الدائم الحركة » كان بالفعل يدار من قبل اناس مختفين ، يسحبون حبلا رفيعا متصلا بالآلة . وقد ظهر ان الذى كان يفعل ذلك ، هما اخ المخترع وخادمته . ولم يستسلم المخترع المفضوح ، ولكنه أكد بعناد حتى نهاية حياته ، ان زوجته وخادمته كانتا تحقدان عليه . ولكنه فقد ثقة الناس به . ولم يكن عبثا قوله لشوماخير مبعوث القيصر : « ان الدنيا مليئة بالاشرار ، الذين لا يمكن تصديقهم باى حال من الاحوال » .



شكل ٥٠ : فضح سر دولاب اورفيريوس (الصورة مأخوذة عن رسم قديم)

وفي عهد بطرس الاول ، اشتهر في المانيا محرك آخر « دائم الحركة » ، ابتكره شخص يدعى جيرتنير . وقد كتب شوماخير يصف تلك الآلة ، قائلا : « ان المحرك الدائم الحركة ، الذى ابتكره السيد جيرتنير ، والذى شاهدته فى مدينة درسدن ، يتألف من جنفاص مملوء بالرمل ، ومن آلة تشبه الجلاّخة ، تتحرك الى الوراء والى الامام حركة ذاتية ، ويقول مخترع الآلة ، انه لا يمكن جعلها اكبر من ذلك » . ولا شك فى ان هذا المحرك ايضا ، لم يتوصل الى هدفه ، وكان فى احسن الاحوال ، عبارة عن آلة مبتكرة ، بمحرك حيّ مخفي بمهارة ، لا يمكن ان نسميه « دائم » مطلقا . وقد كان شوماخير محقّا تماما ، عندما كتب الى القيصر بطرس يخبره بان العلماء الانكليز والفرنسيين يعتقدون بان فكرة « المحرك الدائم الحركة» تتعارض مع مبادئ علم الرياضيات .

الفصل الخامس | خواص السوائل والغازات

مسألة حول ابريقى قهوة

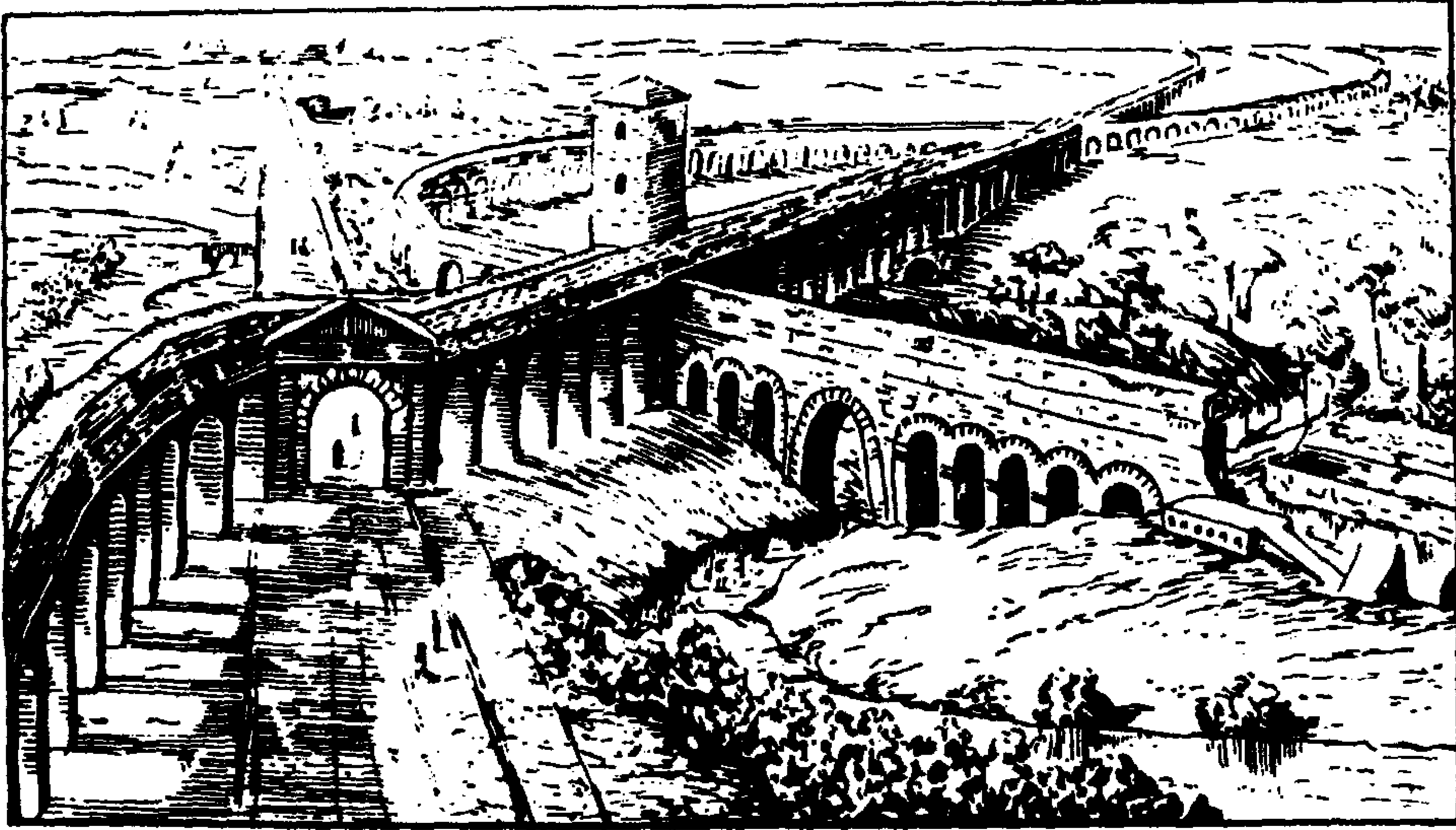
امامنا ابريقان للقهوة (شكل ٥١) متساويان فى العرض ، احدهما طويل والآخر قصير . والآن لنسأل : اى الابريقين اكثر استيعابا من الآخر ؟

من المحتمل ان يقول الكثير من الناس ، دونما تفكير ، بان الابريق الطويل هو الاكثر استيعابا . ولكننا لو اردنا ملء الابريق الطويل بسائل ما ، فانه سيمتلئ الى مستوى فتحة بلبلته . اما الباقى فسيندلق من الفتحة . ولما كانت فتحتا البلبلتين واقعتين على مستوى واحد فى كلا الابريقين ، فان الابريق القصير سيستوعب نفس المقدار الذى يستوعبه الابريق الطويل ، ذى البلبلة القصيرة .

والامر واضح : ان السائل الموجود فى الابريق وفى البلبلة ، يجب ان يستقر على مستوى واحد كما هى الحال بالنسبة لكافة الاوانى المستطرقة ، على الرغم من ان السائل الموجود فى البلبلة اقل وزنا بكثير من السائل الموجود فى الجزء الباقى من الابريق . اما



شكل ٥١ : اى الابريقين يتسع لكمية اكبر من السائل ؟



شكل ٥٢ : مجارى المياه فى روما القديمة ، كما تبدو فى شكلها الاولى .

اذا لم تكن البلبلة طويلة الى حد كاف ، فلن يمتلئ الابريق حتى نهايته ابدا ، لان الماء سيندلق . وتكون البلبلة فى العادة ، اطول حتى من حافات الابريق العليا ، بحيث يمكن امالة الابريق قليلا ، دون ان يندلق السائل ،

ما الذى كان يجهله القدماء

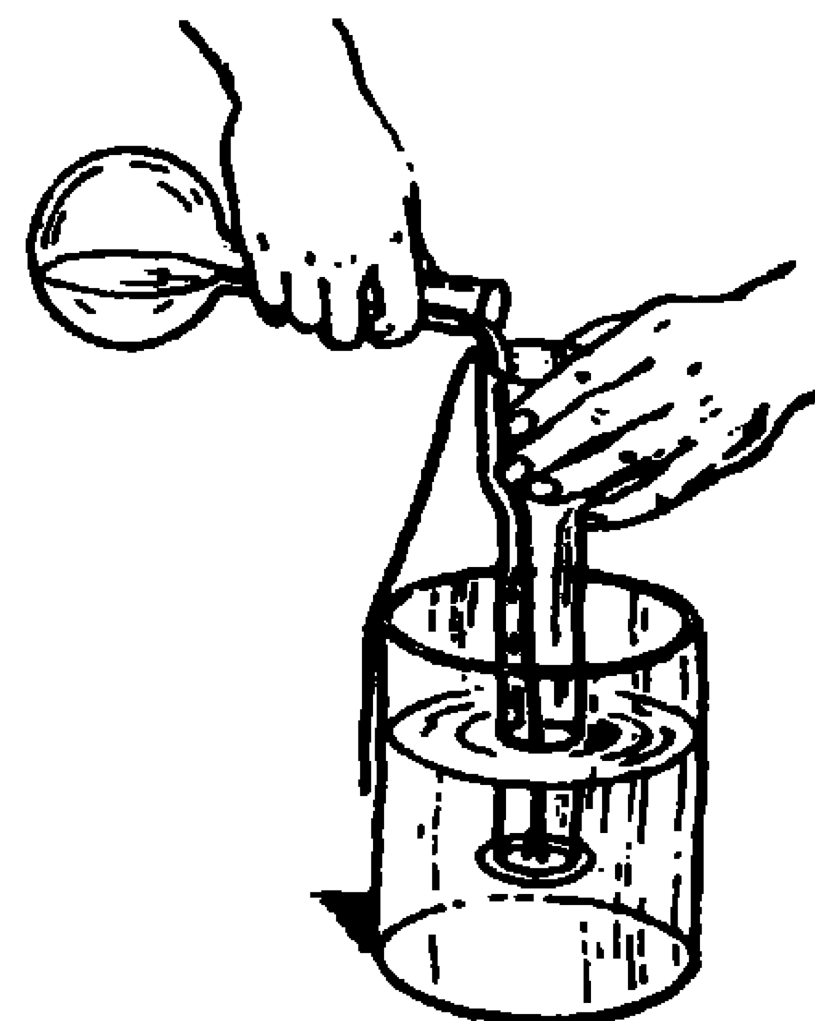
لا يزال سكان مدينة روما الحديثة ، حتى يومنا هذا ، يستخدمون بقايا مجارى المياه ، التى مدّها اسلافهم فى قديم الزمان . اذ قام عبيد روما بهذا العمل على احسن ما يرام :

الا ان هذا لا يعنى ان المهندسين الرومان ، الذين اشرفوا على تلك الاعمال قاموا بتنفيذها على اسس علمية ، فمن الواضح انهم لم يكونوا على معرفة تامة بمبادئ الفيزياء .

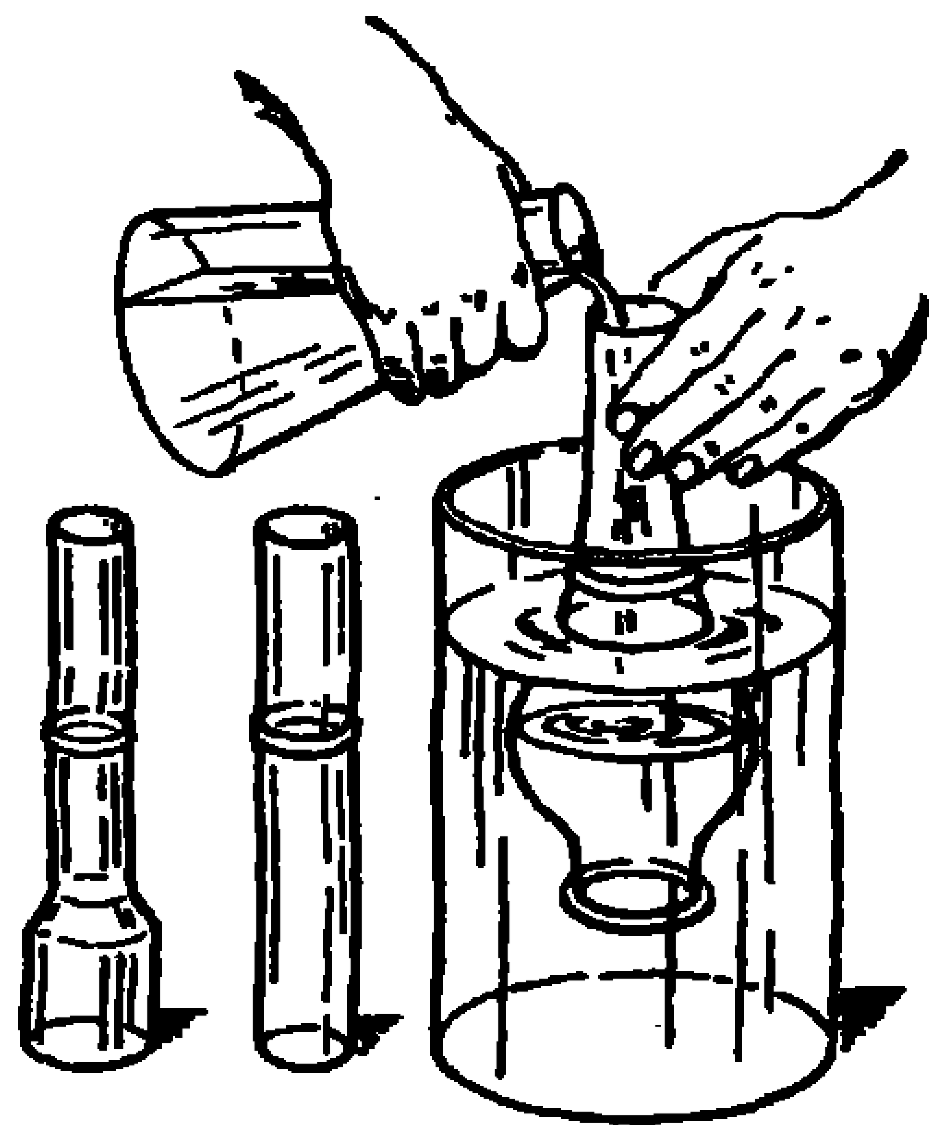
لننظر الى الرسم المبيّن فى الشكل ٥٢ ، المأخوذ عن لوحة محفوظة فى « المتحف الالمانى» بمدينة ميونيخ . ويتضح من الرسم ، ان مجارى المياه فى روما ، لم تمد تحت الارض بل فوقها ، على اعمدة حجرية . فماذا كان الغرض من ذلك ؟ الم يكن من الاسهل مد المواسير تحت الارض ، كما يحدث الآن ؟ بالطبع اسهل ، ولكن لم تكن للمهندسين الرومان فى ذلك الوقت ، فكرة واضحة عن قوانين الاوانى المستطرقة . وقد خافوا الا يرتفع الماء فى الخزانين الموصولين بماسورة طويلة جدا ، الى نفس المستوى . فاذا مدت المواسير تحت الارض ، بميلانات تطابق ميلانات التربة ، فلا بد للماء فى بعض تلك الاقسام ، من ان يجرى الى فوق ـ وهنا خاف الرومان الا يجرى الماء الى فوق . ولهذا السبب ، فقد اعتادوا على مد مواسير المياه ، بميلان منتظم الى الاسفل على امتداد طريقها كلّه (ولهذا الغرض ، كثيرا ما اضطروا اما الى تسيير الماء على طريق غير مباشر ، او الى اقامة دعامات مقنطرة) . ويبلغ طول احدى المواسير الرومانية ، التى تسمى : « اكفا مارسيا » ، حوالى ١٠٠ كم ، بينما تبلغ المسافة المستقيمة بين طرفى الماسورة ، حوالى ٥٠ كم فقط . وهكذا ، فقد اضطر الرومان الى مد طريق مبنى بالحجر طوله ٥٠ كم ، وذلك بسبب جهلهم *لقانون فيزيائى بسيط* .

السوائل تضغط الى الاعلى

حتى اولئك الذين لم يدرسوا علم الفيزياء ، يعرفون ان السوائل تضغط الى الاسفل على قعر الاناء ، وتضغط جانبيا على جدرانه . اما انها تضغط الى الاعلى ، فهو امر لا يشك فيه كثير من الناس . ويمكن التأكد من ذلك باستخدام زجاجة مصباح عادية او انبوبة عريضة . لنحضّر قرصا من الورق المقوى السميك ، بحيث يكفى لتغطية فتحة زجاجة المصباح . نضع القرص على حافات الزجاجة ، ثم نغمر الاخيرة فى اناء فيه ماء ، بالطريقة المبينة فى الشكل ٥٣ . ولكى لا يسقط القرص عند غمره فى الماء ، يمكن تثبيته بخيط مشدود يمر بمركزه ، او اسناده بالاصبع فقط . وعند تغطيس



شكل ٥٣ : تجربة بسيطة تثبت لنا بأن السائل يضغط من الاسفل الى الاعلى .



شكل ٥٤ : ان ضغط السائل على قعر الاناء ، يعتمد على مساحة القاعدة وعلى ارتفاع السائل فقط . ويبين الشكل طريقة اثبات هذا القانون .

الزجاجة الى عمق معيّن ، نرى ان القرص قد اصبح بالذات جيد الالتصاق بالزجاجة ، دون ان نشده من الخيط او نسنده بالاصبع ، وذلك لانه اصبح مسندا بضغط الماء المؤثر عليه من الاسفل الى الاعلى .

ومن الممكن قياس مقدار هذا الضغط نحو الاعلى : نصب الماء في الزجاجة بحذر ، وحالما يصل ارتفاع هذا الماء ، الى مستوى الماء الموجود في الاناء ، نرى ان القرص ينفصل عن الزجاجة . وهذا يعني ان ضغط الماء على القرص من الاسفل الى الاعلى ، قد تعادل مع ضغط عمود الماء الموجود فوق القرص ، الذي يكون ارتفاعه مساويا للعمق الذي يوجد عليه القرص تحت سطح الماء . وهذا هو قانون ضغط السائل على كل جسم مغمور فيه . وبالمناسبة ، يحصل هنا « فقدان » الوزن داخل السوائل ، وهو الفقدان الذي نّص عليه قانون ارخميدس المشهور .

ويمكننا بواسطة عدد من زجاجات المصباح ، المختلفة الشكل والمتساوية الفتحات ، ان نختبر قانونا آخر ، يتعلق بالسوائل وهو : ان ضغط السائل على قعر

الاناء الموجود فيه ، يعتمد فقط على كل من مساحة قاعدة الاناء وارتفاع مستوى السائل الذى فيه . وسوف يتلخص الاختبار فيما يلي : نأخذ عدة زجاجات مختلفة ، ونغطسها فى الماء الى عمق متساو (ولاجل ذلك يجب القيام سلفا بلصق شرائط ورقية على الزجاجات ، بحيث تكون متساوية الارتفاع) . سنلاحظ عندئذ ، ان القرص سينفصل فى كل مرة يصل فيها الماء الذى فى داخل الزجاجات ، الى نفس الارتفاع الواحد (شكل ٥٤) . وهذا يعنى ان ضغط اعمدة الماء المختلفة الاشكال ، يتساوى ، اذا تساوت مساحات قواعدها وتساوت ارتفاعاتها . ويجب الانتباه الى ان المهم هنا ، هو الارتفاع وليس الطول ، لان العمود الطويل المائل ، يضغط على القاعدة ، تماما مثلما يضغط عليها العمود الرأسى القصير ، الذى يساويه فى الارتفاع (عند تساوى مساحتى قاعدتيهما) .

ايهما الاثقل

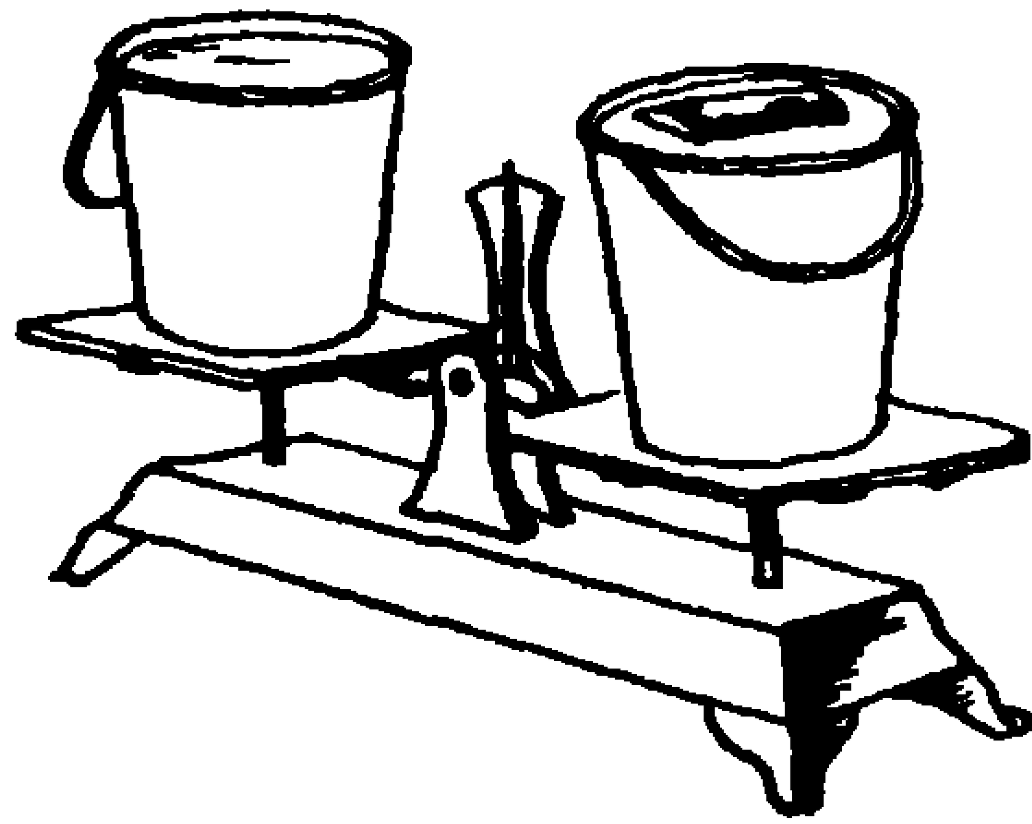
لنضع دلوا مملوءا الى حافته بالماء ، على احدى كفتى ميزان ، وعلى الكفة الثانية ، دلوا مماثلا ، مملوءا بالماء الى حافته ايضا ، وفيه قطعة من الخشب طافية (شكل ٥٥) . ايهما اثقل من الآخر يا ترى ؟

لقد حاولت طرح هذا السؤال على مختلف الناس ، وقد كانت اجاباتهم متنوعة . اجاب بعضهم ، بأن الدلو الذى تطفو فيه قطعة الخشب هو الاثقل ، لان وزن قطعة الخشب يضاف الى وزن الماء الموجود فى الدلو . واجاب الآخرون على النقيض واكدوا ان الدلو الاول هو الاثقل ، لان الماء اثقل من الخشب .

ولكن كلتا الاجابتين غير صحيحتين لان الدلوين متساويان فى الوزن . وفى الحقيقة ، فان الماء فى الدلو الثانى ، اقل مما فى الدلو الاول . ذلك لان قطعة الخشب الطافية ، تزيح قليلا منه . ولكن ، حسب قانون الاجسام الطافية ، عندما يطفو جسم فى سائل ، يكون وزن الجسم الطافى مساويا لوزن السائل الذى ازاحه القسم المغمور من الجسم . ولهذا السبب بالذات ، يجب ان تتوازن كفتا الميزان .

والآن ، لنحل مسألة اخرى : اذا وضعنا قدحا من الماء على احدى كفتي ميزان ووضعنا الى جانبه سنجة ، ثم وازنّا الميزان ، واسقطنا السنجة الموضوعة الى جانب القدح ، في داخله ، فماذا يحدث للميزان ؟

تبعا لقانون ارخميدس ، تصبح السنجة في داخل الماء، اقل وزنا مما كانت عليه خارجه. ربما بدا لنا ، انه من الممكن ان ترتفع الكفة التي وضع عليها القدح . غير ان الواقع يبيّن ان الميزان يحافظ على توازنه . فما هو تفسير ذلك ؟



شكل ٥٥ : ان الدلوين هنا مليئان بالماء حتى نهايتيهما، وتطفو على سطح الماء في الدلو الاول قطعة من الخشب . اى الدلوين اثقل من الآخر ؟

ان السنجة التي في القدح ، ازاحت قسما من الماء ، وبذلك ارتفع الماء الى مستوى اعلى من مستواه الابتدائي ، ونتيجة لذلك يزداد الضغط على قعر القدح ، وذلك لان القعر يتعرض لقوة اضافية ، مساوية لما فقدته السنجة من وزنها .

الشكل الحقيقي للسائل

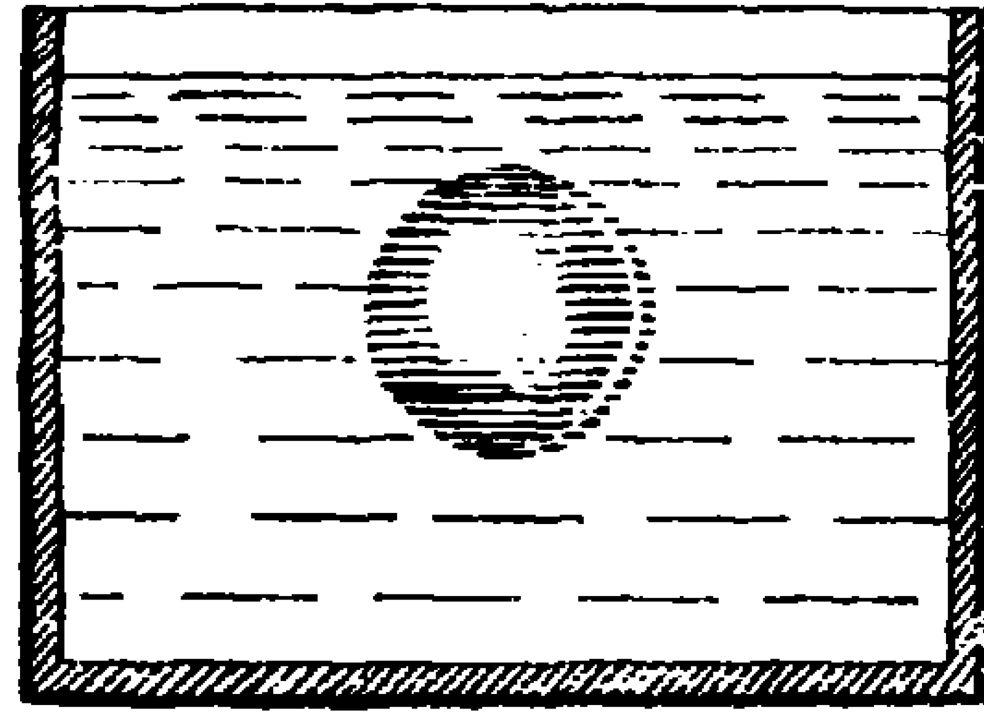
لقد اعتدنا على التفكير بانه ليس للسائل شكلا خاصا ، وهذا غير صحيح . ان الشكل الحقيقي لكافة السوائل — هو الشكل الكروى . وعادة ، فان قوة الجاذبية تحول دون اتخاذ السائل ذلك الشكل . لذا ، فان السائل اما ان يجرى على هيئة طبقة رقيقة اذا سكبناه من الاناء، او ان يأخذ شكل الاناء الذى يصب فيه . وعندما يمزج السائل مع سائل آخر له نفس الوزن النوعي ، فانه طبقا لقانون ارخميدس « يفقد » وزنه، ويصبح عديم الوزن تماما ، ولا تؤثر عليه قوة الجاذبية . عندئذ يأخذ السائل شكله الكروى الطبيعي .

ان زيت الزيتون يطفو على سطح الماء ، ولكنه يرسب في الكحول . ولذلك يمكن اعداد مزيج من الماء والكحول ، بحيث لا يمكن لزيت الزيتون ان يطفو او يرسب في

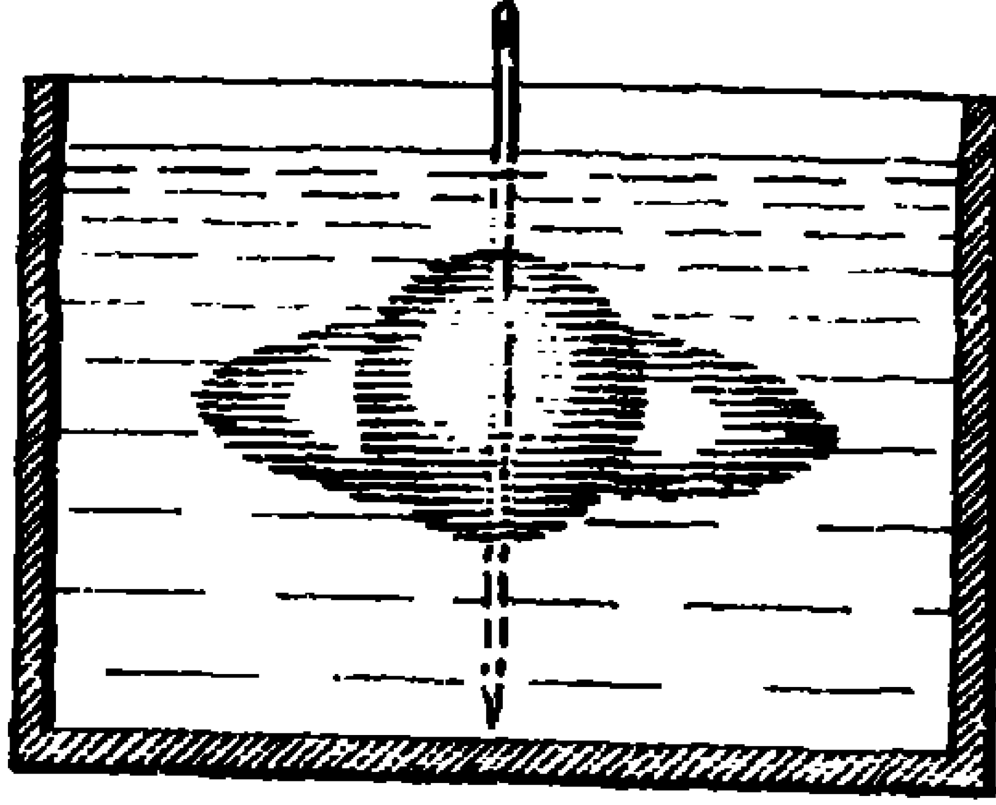
هذا المزيج . وعندما نلقى فى هذا المزيج قليلا من الزيت بواسطة محقنة (قطّارة) ، نلاحظ ظاهرة غريبة : يتجمع الزيت فى قطرة دائرية كبيرة ، لا تطفو ولا ترسب ، بل تبقى معلقة بلا حراك * (شكل ٥٦) .

ويجب اجراء التجربة بأناة وحذر ، والا فلن تتكون لدينا قطرة كبيرة واحدة ، بل عدة قطرات كروية صغيرة . ولكن حتى فى مثل هذه الحالة ، فان التجربة تكون ممتعة ايضا .

ولكن هذا ليس كل شىء بعد . لنأخذ عصا طويلة او سلكا حديديا ، ونجعله يخترق قطرة الزيت السائل من مركزها ، ثم نبدأ بتدويره ، فنرى ان قطرة الزيت تشترك



شكل ٥٦ : ان الزيت الموجود فى داخل اناء فيه كحول مخفف ، يتجمع على هيئة قطرة كبيرة ، لا تغطس فى الكحول ولا تطفو على سطحه (تجربة بلاتو) .



شكل ٥٧ : اذا دورنا قطرة الدهن الموجودة فى الكحول المخفف تدويرا سريعا بواسطة سلك مغروز فيها ، فسوف تتكون حلقة منفصلة عن تلك القطرة .

فى الدوران . ويمكن الحصول على نتيجة افضل ، اذا ادخلنا فى السلك قرصا صغيرا من الورق المقوى بعد تبليله بالزيت ، وحشرناه برمته فى القطرة . فى بداية الامر تتفلطح القطرة تحت تأثير الدوران ، وبعد عدة ثوان تكوّن حلقة منفصلة عنها (شكل ٥٧) .

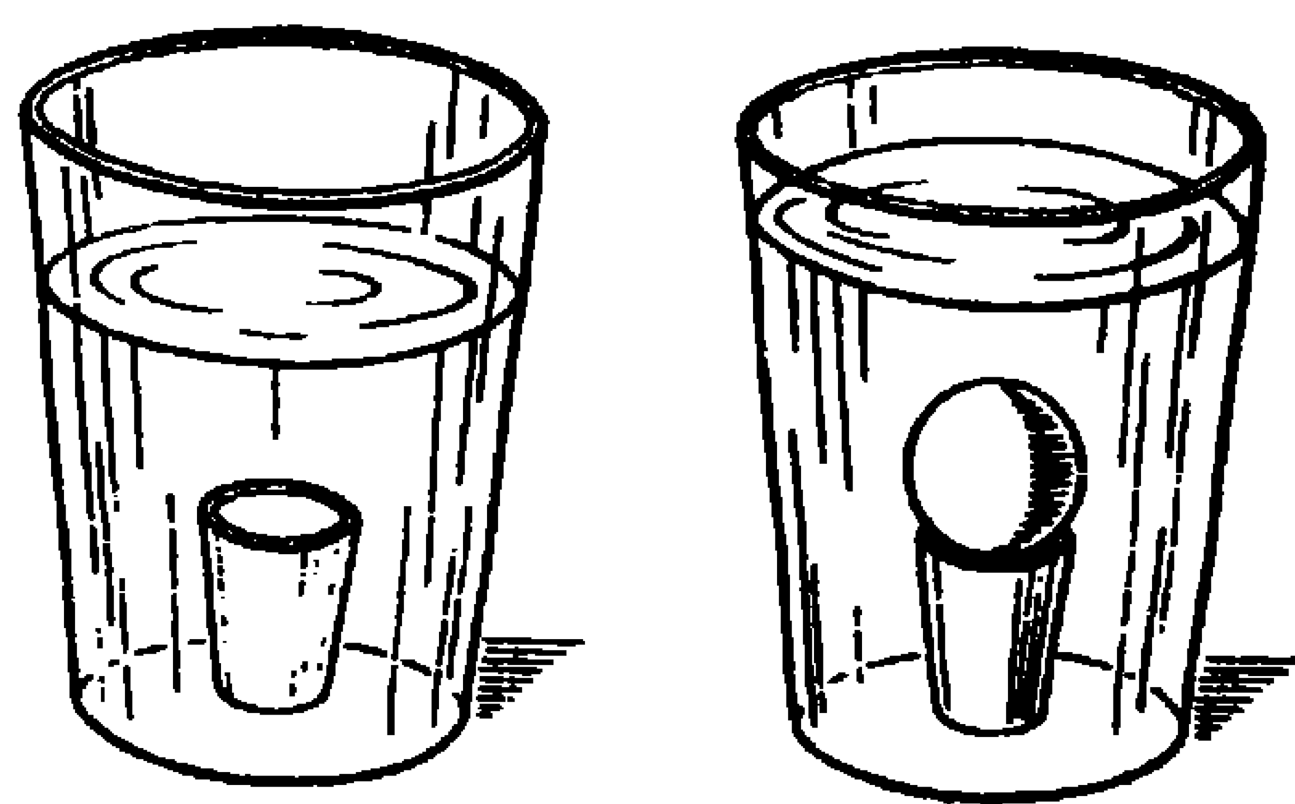
---

* لكى نحصل على شكل كروى صحيح ، يجب اجراء التجربة فى اناء مسطح الجدران (او فى اى اناء كان ، على ان يوضع داخل اناء مسطح الجدران ومملوء بالماء) .

وعندما تتقطع الحلقة الى عدة اقسام ، يكون كل منها قطرة جديدة ، وتستمر كافة القطرات بالدوران حول القطرة المركزية .

ان اول من اجرى هذه التجربة التعليمية ، هو الفيزيائى البلجيكى بلاتو . وقد قدمنا وصفا لتجربة بلاتو بشكلها التقليدى . ويمكن اجراء هذه التجربة بطريقة اسهل بكثير ، مع الحفاظ على هدفها التعليمى . لنأخذ قدحا صغيرا ونغسله بالماء ثم نملأه بزيت الزيتون ، ونضعه فى قعر قدح كبير ، ونصب فى القدح الكبير كمية من الكحول بحذر ، بحيث ينغمر القدح الصغير تماما . ثم نضيف الى القدح الكبير تدريجيا وبحذر ، قليلا من الماء بواسطة ملعقة صغيرة عن طريق جداره . نلاحظ ان سطح الزيت الموجود فى القدح الصغير ، قد اصبح محدبا ، ويزداد التحدب تدريجيا : وعندما تصل كمية الماء المضاف الى حد كاف ، يتحول السطح المحدب الى قطرة كروية كبيرة ، تبقى معلقة داخل المزيج المكون من الكحول والماء (شكل ٥٨) .

ولصعوبة الحصول على الكحول ، يمكن الاستعاضة عنه فى هذه التجربة بالانيلين — وهو سائل يكون فى درجات الحرارة العادية اثقل من الماء ، اما اذا وصلت درجة الحرارة الى حد يتراوح بين ٧٥ — ٨٥° مئوية ، فيصبح اخف من الماء . وبتسخين الماء ،



شكل ٥٨ : تجربة بلاتو بصورة مبسطة .

نستطيع ان نجعل الانيلين يسبح فى داخل الماء ، ويكون على هيئة قطرة كروية كبيرة . وعند درجة حرارة الغرفة ، يتعلق الانيلين فى محلول ملح الطعام * .

وفى عام ١٩٦٣ اثناء التحليق المشترك لسفينتى الفضاء السوفييتيتين « فوستوك — ٣ » و« فوستوك — ٤ » قام رجلا الفضاء نيكولاييف وبوبوفيتش بسلسلة من التجارب لاختبار سلوك السوائل فى ظروف انعدام الوزن . وقد كانت بعض النتائج غير متوقعة . مثلا ، ان السائل الموجود فى الدورق الزجاجى المدور ، لم يتجمع فى المركز على هيئة كرة ، كما كان من المتوقع ، بل حجب جدران الدورق ، تاركا فقاعة هوائية فى المركز بالذات . واذا أخذنا فى الاعتبار ، ان مساحة سطح القسم الخاص بالماء والهواء ، تكون عندئذ اقل ما يمكن ، يصبح تفسير سلوك السائل سهلا .

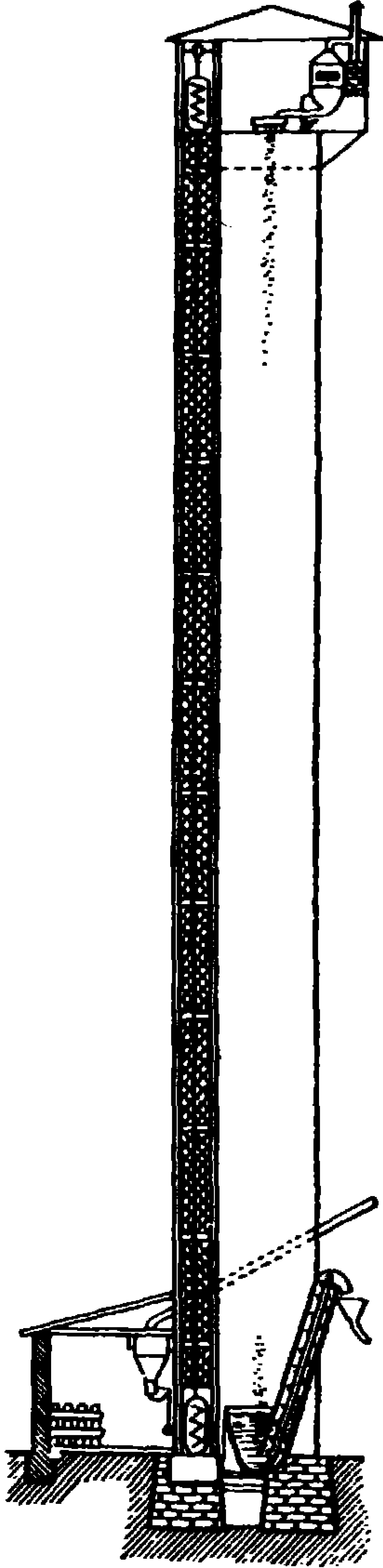
لماذا تكون الخردقة كروية

لقد ذكرنا الآن ، ان كل سائل غير معرض لقوة الجاذبية الارضية ، يأخذ شكله الحقيقى ، وهو الشكل الكروى . فاذا تذكرنا ما قيل سابقا عن انعدام وزن الجسم الساقط ، وأخذنا فى الاعتبار انه فى لحظة ابتداء السقوط ، يمكننا اهمال مقاومة الهواء الضئيلة ** ، فيجب ان تأخذ الاجزاء الساقطة من السائل ، شكلا كرويا ايضا . وفى الواقع ، فان لقطرات المطر الساقطة ، شكلا كرويا . وما الخردق ، سوى قطرات متجمدة من الرصاص المصهور ، يتساقط عند انتاجه فى المصنع ، من ارتفاع كبير على هيئة قطرات ، فى ماء بارد ، حيث تتجمد تلك القطرات على هيئة كريات منتظمة تماما . وتسمى مثل هذه الخردقة ، بخردقة « البرج » ، لانها تنتج باسقاطها من قمة

* ويعتبر الاورثوتولويدين من السوائل الملائمة لهذا الغرض ، وهو سائل غامق الحمرة ، تكون كثافته عند درجة ٢٤° ، مساوية لكثافة الماء المالح ، الذى يضاف اليه الاورثوتولويدين .

** ان قطرات المطر تسقط بتسارع فى لحظة ابتداء السقوط فقط . اما فى النصف الثانى من الثانية الاولى ، مثلا ، فيتحول السقوط الى حركة منتظمة : يتعادل وزن القطرة مع مقاومة الهواء ، التى تزداد بزيادة سرعة القطرة .

« برج صب » مرتفع (شكل ٥٩) . وتكون ابراج الصب هذه ، عبارة عن منشآت معدنية يصل ارتفاعها الى ٤٥ م : توضع فى اعلى قسم منها غرفة للصب ، تحتوى على مراجل للصهر ، ويوجد عند قاعدة كل برج صهريج للماء . وبعد ذلك تتم عمليات تصنيف وتشذيب الخردق . ان قطرة الرصاص المصهور ، تتجمد اثناء سقوطها متحولة الى خردقة وهى فى الهواء . اما صهريج الماء فيلزم فقط ، لتخفيف صدمة الخردقة عند وصولها الى الارض ، وللحيلولة دون تشوه شكلها الكروى (ان الخردقة التى يزيد قطرها على ٦ مم ، والمسماة بـ « الحقة » . تصنع بطريقة مختلفة ، وذلك من قطع سلكية صغيرة ، تدلفن فيما بعد الى كريات) .


شكل ٥٩ : برج مصنع الخردق (قطع الرصاص).

كأس بلا قعر

خذ كأسا واملأها بالماء حتى حافتها ، وضع بقربها بعض الدبابيس ، ثم تناول دبوسين وحاول ان تجد لهما متسعا فى داخل الكأس . هل تعتقد ان بامكانك ان تفعل ذلك ؟

ابدأ بالقاء الدبابيس فى الكأس واحفظ عددها فى نفس الوقت ، على ان يتم ذلك بعناية تامة كما يلى : اغمر رأس الدبوس فى الماء بحذر ، ثم اترك الدبوس من يدك بكل هدوء ، وبلا دفع او ضغط ، لئلا يؤدى الاهتزاز الى انسياب الماء . وبعد القاء عدد من الدبابيس واستقرارها فى قعر الكأس ، سترى ان مستوى الماء لم يتغير .

داوم على القاء الدبابيس الى ان يصل العدد الى اكثر من مائة ... وسترى مع ذلك ، ان الماء لم يبدأ بعد بالانسياب من الكأس (شكل ٦٠) .

ولم يكتف الماء بعدم الانسياب فحسب ، بل انه لم يرتفع عن مستواه باى قدر ملحوظ . استمر فى القاء عدد آخر من الدبابيس ، حتى يصل العدد الى اربعمائة ... وسترى رغم ذلك عدم انسياب اية قطرة من الماء عبر حافة الكأس ، بل سترى الآن بوضوح ، ان سطح الماء قد انتفخ (تحدب) وارتفع قليلا عن حافات الكأس . وفى هذا الانتفاخ (التحدب) يكمن سر هذه الظاهرة المبهمة . ان الماء يبلل الزجاج قليلا ، طالما كان الزجاج مدهونا بعض الشيء ، وحافة الكأس — ومثلها مثل كافة الاوانى الزجاجية التى نستخدمها — لابد وان تتلوث بآثار دهنية ، ناتجة عن ملامسة الاصابع لها . ولما كان الماء لا يبلل الحافة ، فان الدبابيس تزيحه من الكأس ، فيشكل سطحا محدبا . ويكون التحدب غير واضح للعين ، ولكن اذا حسبنا حجم الدبوس الواحد ، وقارناه بحجم التحدب الذى ظهر فوق حافة الكأس ، لاقتنعنا بان الحجم الاول اقل من الحجم الثانى بمئات المرات . وهذا هو السبب الذى يجعل الكأس المملوءة ، تتسع لعدة مئات اخرى من الدبابيس ، وكلما كانت فوهة الكأس اوسع ، كلما اتسعت لعدد اكبر من الدبابيس ، وذلك لان التحدب سيكون اكبر . ولايضاح المسألة ، نقوم بحساب تقريبى . يبلغ طول الدبوس حوالى ٢٥ مم ، وسمكه نصف مليمتر . ويمكن ايجاد حجم مثل هذه الاسطوانة ، بسهولة ، وذلك بموجب الصيغة الهندسية المعروفة ($\frac{ع ق^{٢} ط}{٤}$) ، ويساوى ٥ مم^{٣} .



شكل ٦٠ : التجربة المدهشة لالقاء الدبابيس فى كأس الماء .

حيث :

ع – طول الدبوس ؛

ق – قطر الدبوس ؛

ط – النسبة الثابتة (١٤ر٣)

ولا يزيد حجم الدبوس مع الرأس ، على ٥ر٥ مم^{٣} .

والآن نحسب حجم الطبقة المائية ، المرتفعة فوق حافة الكأس . قطر الكأس يساوى ٩ سم = ٩٠ مم . ومساحة مثل هذه الدائرة ، تساوى حوالى ٦٤٠٠ مم^{٢} . واذا اعتبرنا ان سمك الطبقة المرتفعة ، يساوى ١ مم فقط ، يكون حجمها مساويا للمقدار ٦٤٠٠ مم^{٣} ، وهذا اكبر من حجم الدبوس بمقدار ١٢٠٠ مرة . وبعبارة اخرى ، فان الكأس « المملوءة » تتسع لاكثر من الف دبوس اضافى ! وفى الحقيقة ، اذا التزمنا الحذر ، يمكن ان نلقى فى الكأس باكثر من الف دبوس ، بحيث تبدو للعين ، وكأنها تشغل الكأس برمتها ، بل وترتفع فوق حافتها ، فى الوقت الذى لا يبدو فيه ان الماء فى طريقه الى الانسياب .

الخاصية الطريفة للكيروسين

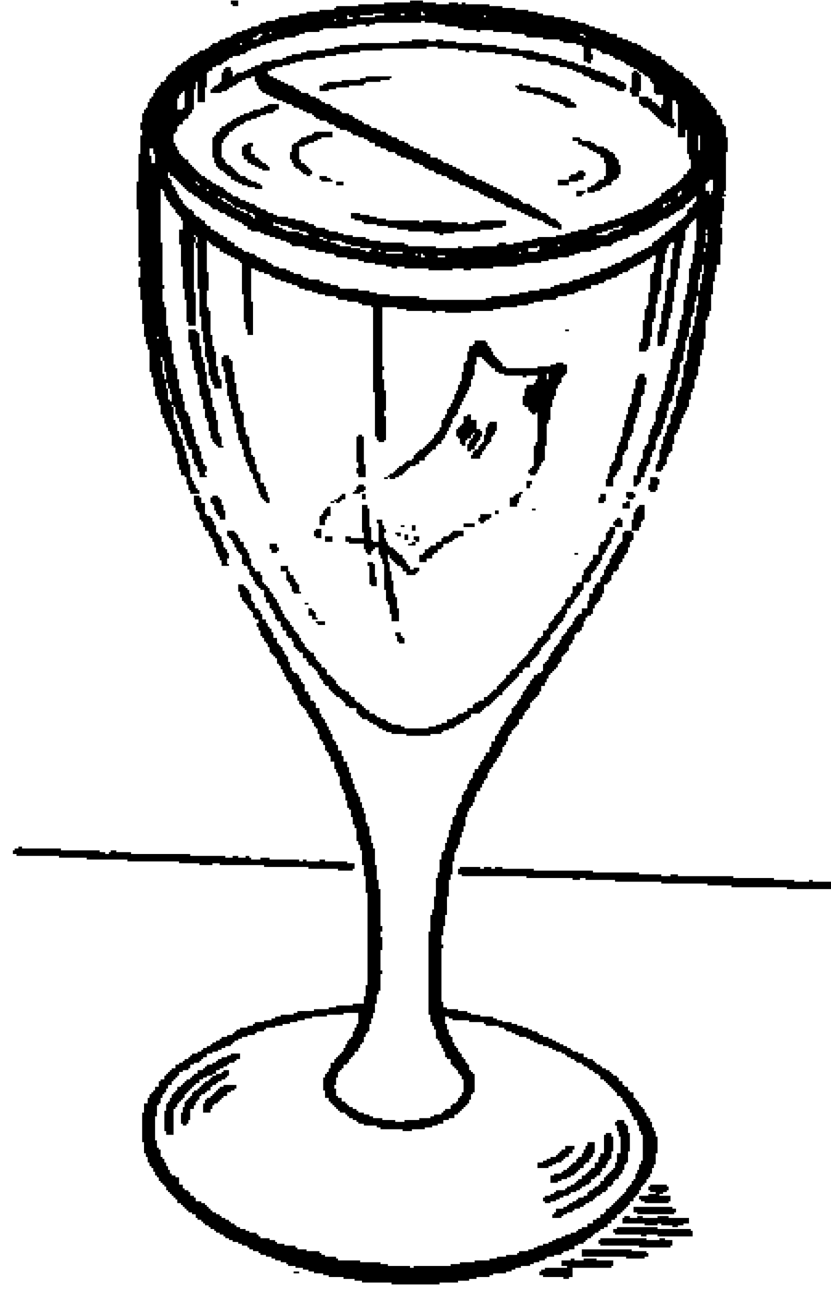
ان كل من استخدم مصباح الكاز ، يعلم على الارجح ، بالمفاجآت المزعجة ، المتعلقة باحدى خواص الكيروسين . فاذا ملأنا الخزان بالكيروسين ، وجففناه من الخارج تجفيفا جيّدا ، نرى انه بعد مضى ساعة من الوقت ، يصبح مبللا مرة ثانية .

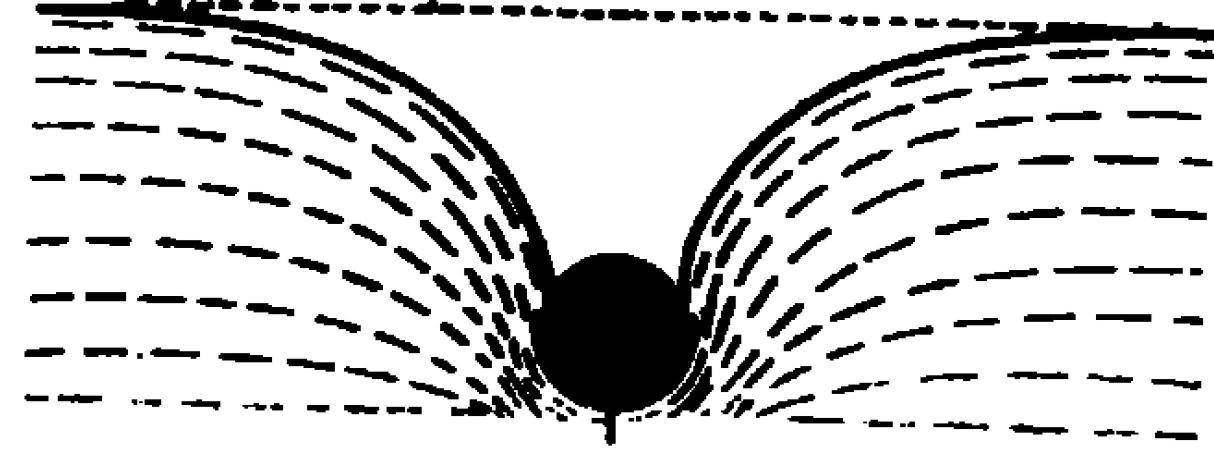
والسبب فى ذلك ، هو اننا لم نحكم سد ترمسة المصباح ، وعند محاولة الكيروسين الانتشار على سطح الزجاجة ، تسرّب الى السطح الخارجى للخزان . فاذا اردنا تجنب مثل هذه المفاجآت ، يجب علينا ان نحكم سد ترمسة المصباح على قدر المستطاع . ولكن عند القيام بذلك ، يجب الا يكون الخزان ممتلئا حتى النهاية . اذ ان الكيروسين يتمدد بالتسخين تمددا كبيرا (يزداد حجمه بمقدار ١ر٠ عند ارتفاع درجة الحرارة الى ١٠٠° مئوية) . وكيلا ينفجر الخزان ، يجب ترك حيّز فيه للتمدد .

ان خاصية الزحف (التسرب) هذه ، تسبب شعورا بعدم الارتياح ، على ظهر تلك السفن التي تشغل ماكيناتها بالكيروسين (او النفط) . واذا لم تتخذ الاجراءات اللازمة ، يصبح نقل كافة انواع البضائع على ظهر تلك السفن متعذرا ، ما عدا الكيروسين بالذات . ذلك لان هذه السوائل عندما تزحف (تتسرب) من الخزانات عن طريق ثقوب خفية ، فانها لا تنتشر على السطح المعدني للخزانات فحسب ، بل وتتوغل في كل مكان ، حتى في ملابس الركاب ، وتجعل رائحة الكيروسين التي لا يمكن التخلص منها ، تفوح من كافة المواد والبضائع . وقد ذهبت كافة محاولات القضاء على هذا الشر ، ادراج الرياح . ولم يكن الكاتب الانكليزي الساخر جيرم ، مبالغا في قوله ، عندما تحدث عن الكيروسين في روايته المعنونة « ثلاثة في قارب » ، اذ قال :

« لم ار ابدا اية مادة لها تلك القابلية للتسرب كالتي للكيروسين . فقد وضعناه في مقدمة القارب ، فاذا به يتسرب منها الى المؤخرة ، بعد ان اشبع برائحته الخاصة ، كل الاشياء التي مر بها في طريقه . فعندما تسرب خلال الواح التغطية الخشبية ، ووصل الى الماء ، افسد الهواء والجو ، ونغص الحياة . فقد كانت رياح الكيروسين تهب احيانا من الغرب ، واحيانا من الشرق ، وكانت تأتي احيانا اخرى من الشمال ، او ربما أتت من الجنوب . ولكن ، بغض النظر عما اذا كان مصدره هو القطب الجليدي او الصحراء الرملية ، فقد كان يصلنا دائما ، مشبعا برائحة الكيروسين . وقد افسدت علينا هذه الرائحة روعة الغروب . اما اشعة القمر ، فقد كانت تفوح برائحة الكيروسين تماما . وبعد ان ربطنا القارب الى جانب الجسر ، ذهبنا للنزهة في المدينة ، ولكن الرائحة الكريهة كانت تطاردنا ، وبدى لنا ان المدينة كلها قد تشبعت بهذه الرائحة » . ومن الطبيعي ، ان ملابس الرحالة فقط ، هي التي كانت في الواقع مشبعة بتلك الرائحة .

ان قابلية الكيروسين لتبليل السطح الخارجي للخزانات ، جعلت الناس تفكر خطأ ، بان الكيروسين يمكن ان ينفذ الى خلال المعادن والزجاج .





شكل ٦١ : الابرة الطافية على سطح الماء . الصورة اليمنى – المقطع العرضي للابرة (سمك ٢ مم) والشكل الدقيق للاثر الذي تخلفه على سطح الماء ؛ الصورة اليسرى – طريقة لجعل الابرة تطفو على سطح الماء باستخدام قطعة من ورق السكاير .

قطعة نقود لا تغوص في الماء

ان قطعة النقود التي لا تغوص في الماء، هي حقيقة واقعة وليست خرافة . ويمكن التأكد من ذلك باجراء بعض التجارب البسيطة . نبدأ بالاجسام الصغيرة ، ولتكن الابرة مثلا . يبدو انه لا يمكن جعل الابرة الفولاذية تطفو على صفحة الماء ، بينما يمكن بسهولة القيام بذلك . نضع على صفحة الماء قصاصة من ورق السجاير ، ونضع فوقها ابرة جافة تماما . وما علينا الآن الا ان نسحب القصاصة من تحت الابرة ، وذلك بالشكل التالي : نأخذ ابرة ثانية او دبوسا ، ونضغط بهما على حافات القصاصة لنجعلها تغوص في الماء ، ثم ننقل الضغط تدريجيا الى الوسط حتى تغوص القصاصة برمتها في الماء . اما الابرة ، فستبقى طافية على صفحة الماء (شكل ٦١) . ويمكننا التحكم في اتجاه الابرة الطافية ، وذلك اذا قربنا من جدران قدح الماء ، قطعة مغناطيس وحركناها بمستوى صفحة الماء .

ونستطيع بشيء من الحذاقة ، الاستغناء هنا عن قصاصة ورق السجاير ، وذلك اذا تناولنا الابرة بين اصابعنا ، واسقطناها على صفحة الماء بصورة افقية ومن ارتفاع قليل جدا .

ويمكن ان نجعل الدبوس يطفو على صفحة الماء ، بدل الابرة (على الا يزيد سمك كل منهما على ٢ مم) ، وكذلك الزر الخفيف والقطع المعدنية الصغيرة المسطحة . وبعد التمرّن على ذلك ، نحاول ان نجعل قطعة النقود تطفو على صفحة الماء .

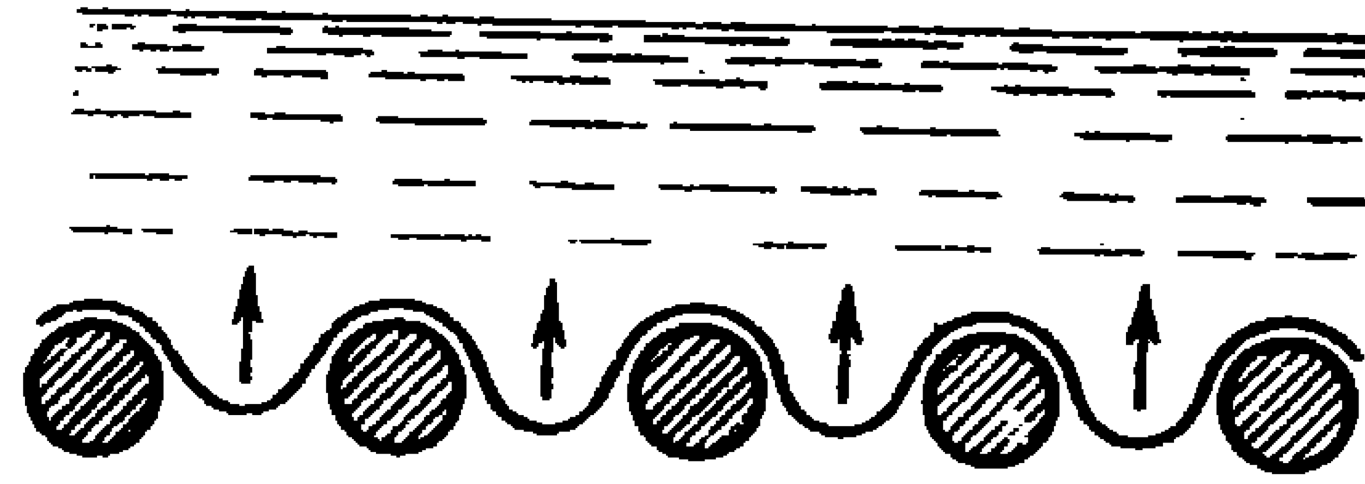
ان سبب طفو هذه القطع المعدنية الصغيرة ، هو ان الماء لا يبلل المعدن جيّدا ، وذلك لانه اصبح مغطى بطبقة دهنية رقيقة جدا ، نتيجة لتداوله فى ايدينا . ولهذا يتكون حول الابرة الطافية على صفحة الماء تجويف ظاهر للعين . وعندما تحاول الطبقة السطحية الرقيقة للماء ، ان تستوى ، تقوم بضغط الابرة الى الاعلى ، وبذلك تعمل على اسنادها . كما تسند الابرة ايضا ، قوة دفع السائل من الاسفل ، وهى حسب قانون الاجسام الطافية ، تساوى وزن السائل الذى تزيحه الابرة . واسهل طريقة لتحقيق طفو الابرة ، هو تزييتها بالزيت . ويمكن وضع مثل هذه الابرة على صفحة الماء مباشرة دون ان تغوص .

نقل الماء فى الغربال

يتضح انه يمكن بالفعل نقل الماء فى الغربال ، ولا تنحصر هذه العملية فى القصص الخيالية فقط .

ومعرفة علم الفيزياء ، تساعدنا على القيام بمثل هذا العمل ، الذى يبدو فى الظاهر مستحيلا . ولاجراء ذلك ، نأخذ غربالا سلكيا بقطر قدره ١٥ سم ، بحيث لا تكون ثقوبه رفيعة جدا (حوالى ١ مم) ، ونغطس شبكته فى البارافين المسال (المائع) . ثم نرفع الشبكة من داخل البارافين ، فنرى انها مغطاة بطبقة رقيقة من البارافين ، لا تكاد ترى بالعين الا بصعوبة .

ان الغربال لم يتغير — فهو يحتوى على فتحات يمكن للدبوس ان يمر خلالها بسهولة — ولكن نستطيع الآن نقل الماء فى الغربال ، بالمعنى الحرفى لهذه العبارة . ويمكن ان يحتوى هذا الغربال ، على كمية كبيرة نسبيا من الماء ، دون ان يسيل من خلال الثقوب ، ويجب عند ذلك صب الماء فى الغربال بحذر تام ، مع المحافظة على عدم رج الشبكة .



شكل ٦٢ : لما لا ينسكب الماء من الغربال المدهون بالبارافين ؟

والآن ، لماذا لا يسيل الماء ؟ لان البارافين الذى لا يتبلل بالماء ، يكوّن فى ثقوب الغربال ، طبقات رقيقة جدا ، محدّبة الى الاسفل ، تعمل على حبس الماء (شكل ٦٢) .

ويمكن جعل مثل هذا الغربال البارافيني يطفو على سطح الماء اى يمكن استخدام الغربال فى العوم على صفحة الماء ، بالاضافة الى استخدامه فى نقل الماء .

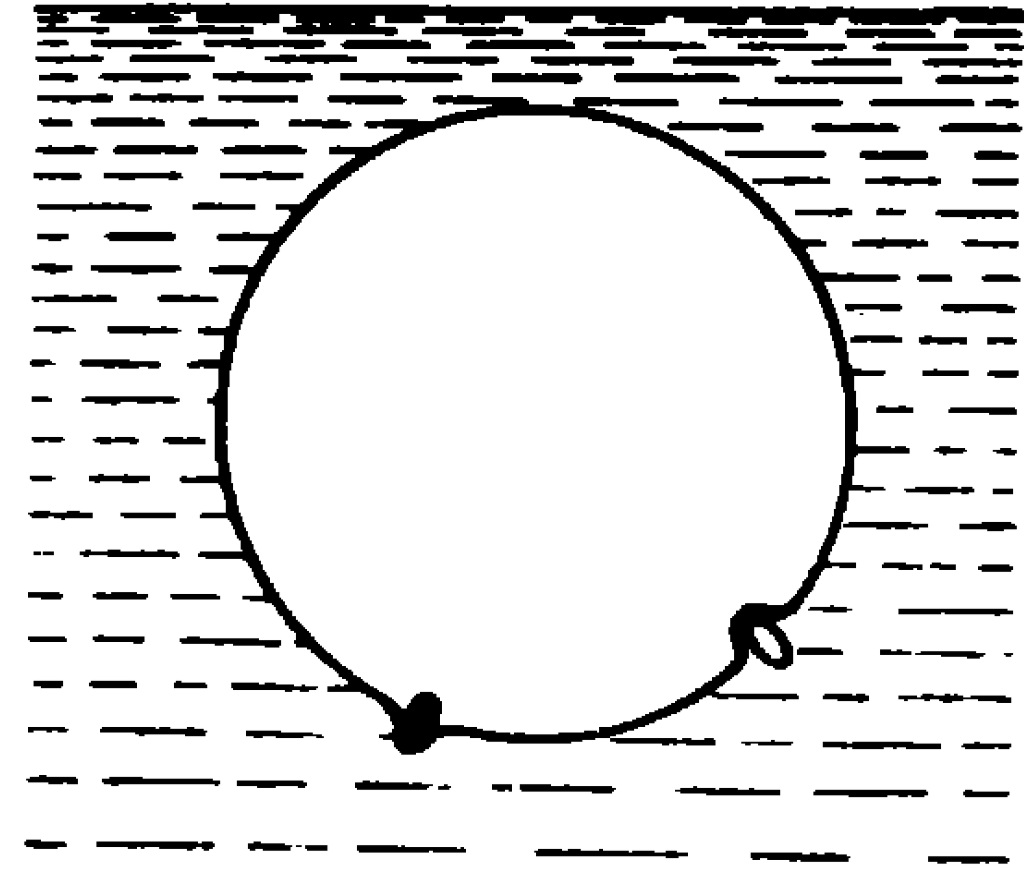
وتوضح هذه التجربة غير المألوفة ، عددا من الظواهر العادية ، التى اعتدنا عليها جدا ، بحيث لم نفكر فى سبب حدوثها . ان طلى البراميل والقوارب بالقار ، وتزييت السدادات والجلب بالشحم ، والطلى بالاصباغ الزيتية ، وبصورة عامة ، عندما نغطى كافة الاشياء والحاجيات التى لا نريد ان ينفذ اليها الماء ، بطبقة من المواد الدهنية ، وكذلك عند معالجة (طلى او تشريب) الاقمشة بالمطاط — كل ذلك ، لا يخرج عن كونه عملية اعداد غربال ، شبيه بالذى تحدثنا عنه الآن . ان حقيقة الامر واحدة فى كلتا الحالتين ، ولكنها فى حالة الغربال ، تبدو بصورة غير مألوفة .

الرغوة فى خدمة التكنيك

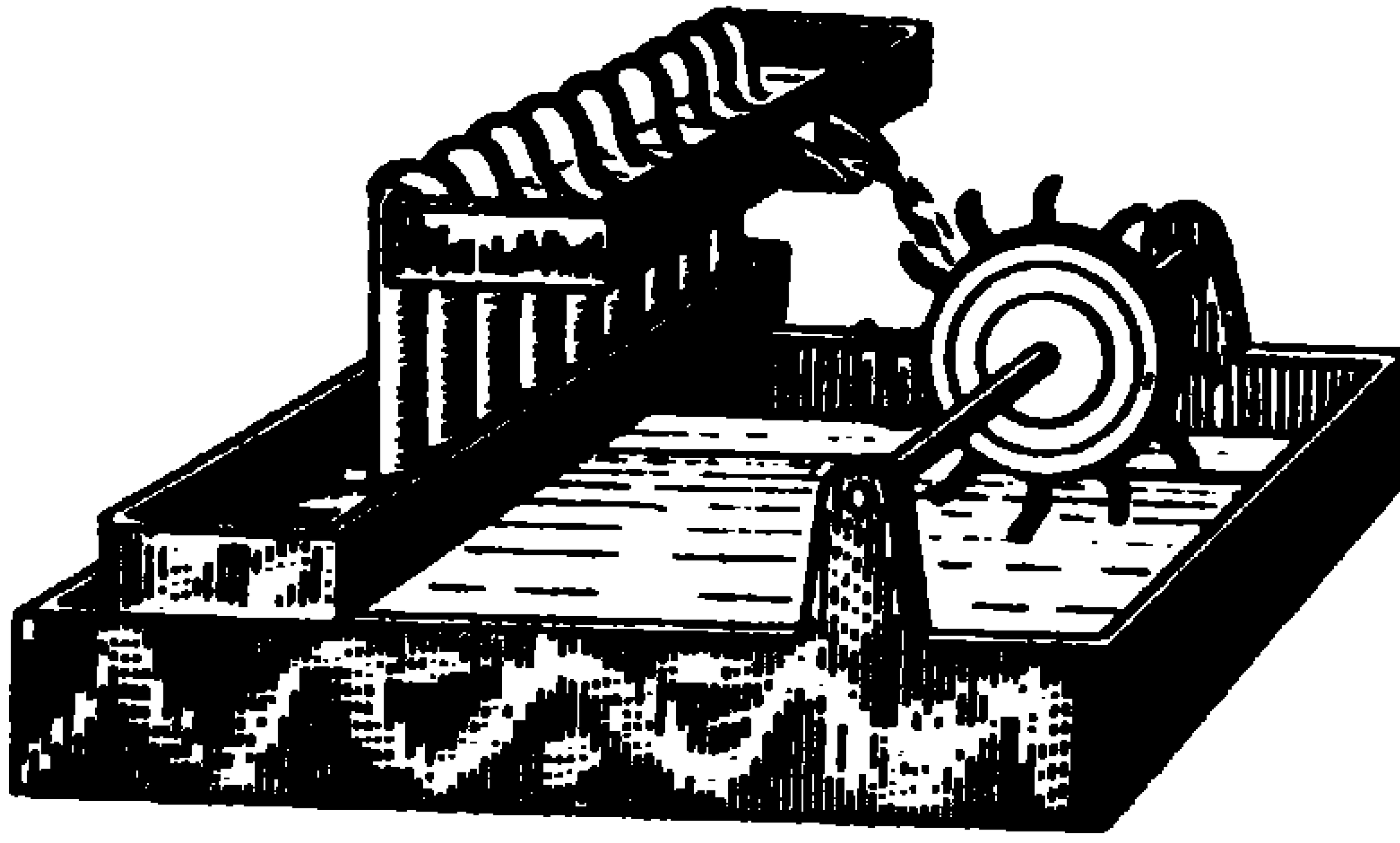
ان تجربة تعويم الابرة الفولاذية وقطعة النقود النحاسية على صفحة الماء ، تشبه احدى الظواهر التى تستخدم فى صناعة التعدين ، لغرض « تركيز » الخامات ، اى لزيادة كمية المعدن الاساسى الثمين فيها .

وهناك عدة طرق تكنيكية لتركيز الخامات . اما الطريقة التى نقصدها فى حديثنا ، والتى تسمى بطريقة « التعويم » ، فهى احسن الطرق ، حيث انها تستخدم بنجاح حتى فى الحالات التى تكون فيها الطرق الاخرى عديمة النفع .

وتتلخص طريقة التعويم هذه فيما يلى : يوضع الخام المسحوق سحقا ناعما ، فى حوض فيه ماء ومواد دهنية ، تقوم بتغليف دقائق المعدن الاساسى بطبقات رقيقة لا تتبلل بالماء . ويخلط المزيج بشدة مع الهواء المضغوط ، فيتكون بذلك عدد كبير من الفقاقيع الصغيرة – رغوة . وعند ذلك ، فان دقائق المعدن الاساسى المكسوّة بطبقة دهنية رقيقة ، تتعلق بقشرة الفقاعة الهوائية عند ملامستها لها ، فترفعها الاخيرة الى الاعلى ،



شكل ٦٣ : كيفية حدوث التعويم .



شكل ٦٤ : محرك « دائم الحركة » لا يمكن تحقيق عمله .

كما يرفع المنطاد الجندول فى الجو (شكل ٦٣) . اما دقائق الشوائب المعدنية ، غير المكسوة بطبقة دهنية ، فلا تتعلق بقشرة الفقاعة ، بل تبقى فى داخل السائل . ويجب ان نلاحظ ، ان حجم الفقاعة الهوائية للرغوة ، اكبر كثيرا من حجم الدقيقة المعدنية ، ويمكنها ان تطفو بسهولة ، حاملة معها تلك الدقيقة الصلبة من المعدن . وبالنتيجة ، تصبح كافة دقائق المعدن الاساسى ، موجودة فى الرغوة التى تغطى السائل . ثم تزال الرغوة عن سطح السائل ، وتجرى عليها عدة معالجات اخرى – للحصول على ما يسمى

« بالخام المركز » ، الذى يحتوى على كمية من المعدن الاساسى ، تزيد بعشر مرات ، عما يحويه الخام الاول .

ويجرى التعويم بطريقة فنية متقنة جدا ، بحيث يمكن بالاختيار الملائم للسوائل الكاشفة (المزيج) ، فصل اى معدن اساسى عن الشوائب المعدنية ، فى اى مركب كان .

ولم يتم اكتشاف طريقة التعويم ، بناء على احدى النظريات ، بل تم ذلك بالمراقبة الدقيقة لاحدى الحقائق التى وقعت صدفة . ففى نهاية القرن الماضى ، عندما كانت المعلمة الامريكية كارى ايفيرسون تغسل اكياسا ملوثة بالدهن ، بعد استعمالها لحفظ مادة بيريت النحاس ، لاحظت ان دقائق بيريت النحاس تطفو مع رغوة الصابون . وكانت تلك الملاحظة بداية الطريق نحو تطوّر طريقة التعويم .

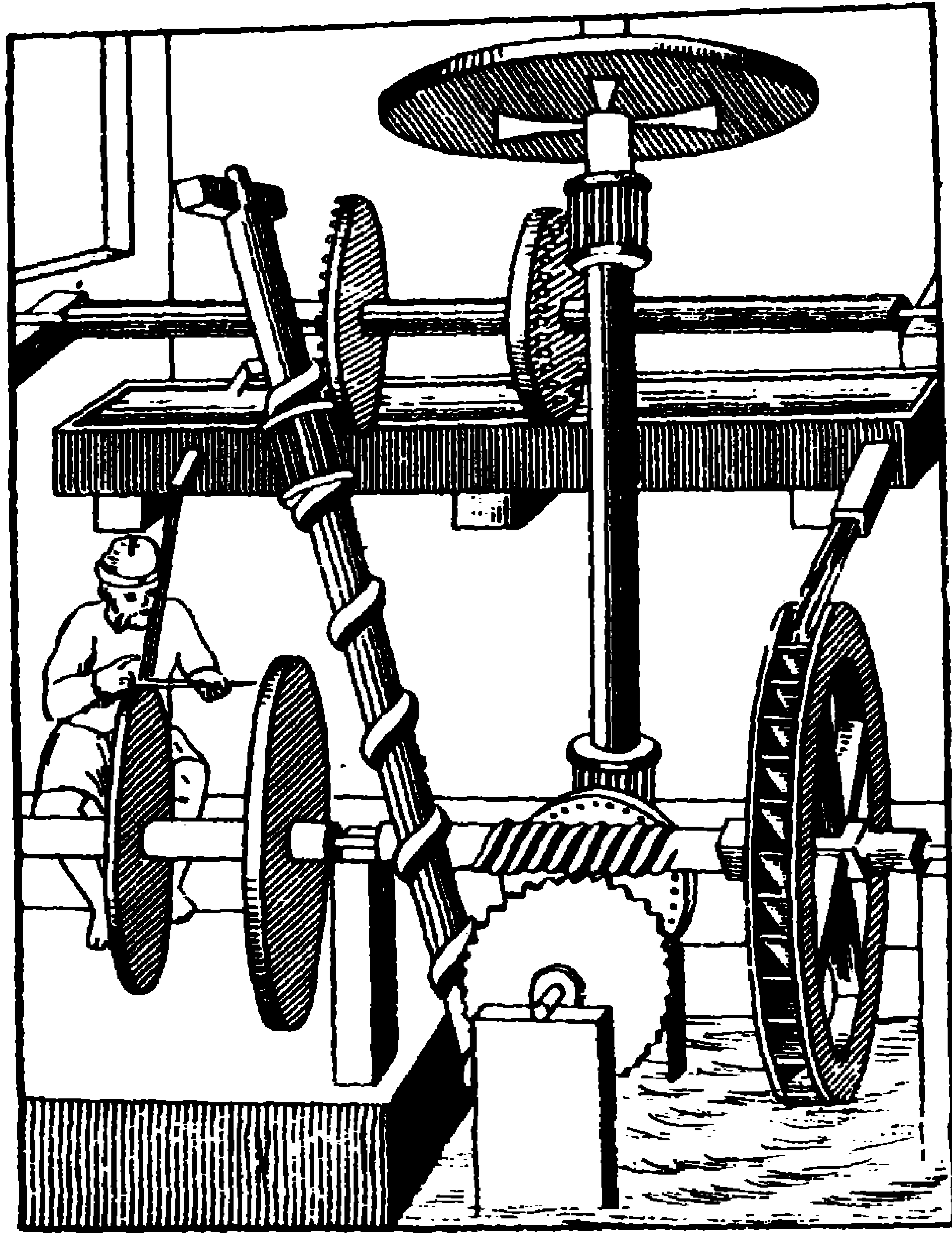
المحرك «الدائم الحركة» المزعوم

نجد فى الكتب احيانا وصفا للجهاز المبيّن فى الشكل ٦٤ ، على اعتبار انه نموذج حقيقى للمحرك « الدائم الحركة » . ويتألف هذا الجهاز من اناء صُبّ فيه زيت (او ماء) ، يمتّص الى الاعلى بواسطة فتائل ، فينتقل اولا الى اناء اعلى من الاول ، ومنه ينتقل بواسطة فتائل اخرى الى اناء اعلى ، ويحتوى الاناء العلوى على مجرى لسيلان الزيت الذى يسقط على جواريف (ريش توجيه) الدولاب ، فيجعله يدور . ان الزيت الذى يجرى الى الاسفل ، يرتفع ثانية الى الاناء العلوى بواسطة الفتائل . وهكذا ، فان تيار الزيت المتدفق عبر المجرى نحو الدولاب، لا ينقطع ابدا ، ويجب ان يتحرك الدولاب بصورة دائمية .

واذا كلفنا المؤلفين الذين وصفوا هذا الجهاز بمهمة صنعه ، لتأكدوا ، لا من عدم دوران الدولاب فحسب ، بل ومن عدم وصول اية قطرة من السائل الى الاناء العلوى !

ويمكن تصور ذلك ، دون القيام بصنع ذلك الجهاز . حقّا ، لماذا يعتقد المخترع بان الزيت يجب ان يسيل الى الاسفل من الجزء العلوى المنحنى للفتيل ؟ ان التجاذب

الشعرى تغلب على الجاذبية الارضية ، ورفع السائل الى الاعلى خلال الفتيل . وهذا التجاذب الشعرى بالذات ، هو الذى يحافظ على بقاء السائل فى مسام الفتيل المبلل ، ويمنعه من التسرب الى الخارج . فاذا فرضنا ان السائل يمكن ان يصل الى الاناء العلوى لتلك الدوامة المزعومة ، وذلك بتأثير قوة التجاذب الشعرى ، فيجب الاعتراف فيما بعد ، بان تلك الفتائل التى يفترض ان توصل السائل الى الاناء العلوى ، سوف تقوم بالذات ، باعادته ثانية الى الاناء السفلى .



شكل ٦٥ : تصميم قديم لمحرك « دائم الحركة » ، يعمل بواسطة تيار الماء ، ويستخدم لتدوير حجر التجليخ .

ويذكّرنا هذا المحرك الدائم الحركة المزعوم ، بماكنة اخرى تعمل بالماء ، ذات « حركة دائمة » اخترعت في عام ١٥٧٥ من قبل الميكانيكي الايطالي سترادو الكبير . وهذه الماكنة المسلية مبينة في الشكل ٦٥ . عند دوران اللولب (الشادوف الارخميدي) يرتفع الماء الى الخزان العلوي ، ومنه يتدفق خلال المجرى على هيئة تيار مائي يسقط على ريش توجيه الدولاب الذي يقوم بملء الخزان (في الاسفل الى اليمين) . ويقوم دولاب الماء بتشغيل آلية التجليخ ، ويدير في نفس الوقت بمساعدة عدد من العجلات المسننة ، اللولب الذي يرفع الماء الى الخزان العلوي . وهكذا ، فان اللولب يدير الدولاب ، والدولاب يدير اللولب ! اذا كان في الامكان صنع مثل هذه الآليات ، لكان من الاسهل القيام بذلك كما يلي : نلف حبلا حول بكّارة (مجموعة من البكرات) ، ونربط في طرفي الحبل ثقلين متساويين ، فاذا ما نزل احد الثقلين الى الاسفل ، فانه سيرفع بذلك الثقل الثاني ، وعند نزول الثقل الثاني من ذلك الارتفاع ، سيرفع الثقل الاول . فهل تختلف هذه الآلة بشيء عن « المحرك الدائم الحركة » ؟

فقاقيع الصابون

هل قمت يوما ما بنفخ فقاقيع الصابون ؟ ليس ذلك بالامر السهل كما يبدو . وكان يبدو لي ان ذلك لا يحتاج الى اية مهارة ، حتى اقتنعت بان القيام بنفخ فقاقيع كبيرة وجميلة المنظر ، هو فن خاص يحتاج الى تمرين . ولكن هل هناك فائدة من القيام بعمل تافه ، مثل نفخ فقاقيع الصابون ؟

لقد كوّن الناس فكرة غير حسنة عن هذه الفقاقيع . وعلى الاقل ، فنحن لا نعبر عن رضانا عندما نتذكرها في احاديثنا . ولكن الفيزيائيين ينظرون اليها نظرة مختلفة تماما . فقد كتب العالم الانكليزي العظيم كيلفن يقول : « انفخ فقاعة صابون وراقبها ، اذ يمكنك ان تدرسها طوال حياتك ، وتستقي منها على الدوام دروسا في الفيزياء » .

وفي الحقيقة ، فان الوان قوس قزح السحرية ، التي تظهر على الاغشية الرقيقة

لفقاقيع الصابون ، تساعد علماء الفيزياء على قياس طول الموجات الضوئية . اما بحث شد (توتّر) هذه الاغشية الرقيقة ، فيساعد على دراسة قوانين تبادل الفعل بين الدقائق (الجسيمات) — وهي قوى التماسك ، التي لو لا وجودها ، لما وجد في هذا العالم اى شيء ، ما خلا دقائق الغبار .

ان التجارب القليلة الموضحة ادناه ، لا تنطوى على شيء من الاهمية في اغراضها . ان ذلك مجرد لهو ممتع ، يجعلنا نتعرف على فن نفخ فقاقيع الصابون . وقد قدم العالم الانكليزى جارلس بويز في كتابه المعنون « فقاقيع الصابون » ، وصفا مفصلا لعدد كبير من التجارب المختلفة ، المتعلقة بفقاقيع الصابون . فاذا كنت من المهتمين بمثل تلك التجارب ، فعليك الرجوع الى ذلك الكتاب الرائع ، الذى نقتبس منه فيما يلي ابسط التجارب فقط .

ويمكن اجراء هذه التجارب باستخدام صابون الغسيل العادى * ، وننصح الراغبين في ذلك ، باستخدام صابون زيت الزيتون النقي او زيت الاوز النقي ، الذى يعتبر اكثر ملاءمة للحصول على فقاقيع صابون كبيرة وجميلة . نذيب قطعة من هذا الصابون بعناية ، في ماء بارد نظيف ، الى ان يصبح الماء مشبعا برغوة الصابون الكثيفة . ومن الافضل استخدام ماء المطر النقي او ماء الثلج وعند عدم توفر ذلك ، نستخدم الماء المغلي بعد تبريده ، ولكي تبقى الفقاقيع مدّة طويلة من الزمن ، ينصح العالم بلاتو باضافة الجليسرين الى الرغوة بنسبة حجمية قدرها ١:٣ . نزيل الرغوة والفقاقيع الصغيرة عن سطح السائل الرغوى ، بواسطة ملعقة ، ثم نغط في الرغوة انبوبة رفيعة من الفخار . بعد ان ندهن طرفها بالصابون ، من الداخل والخارج . ويمكن الحصول على نتائج حسنة باستخدام انابيب من القش طولها ١٠ سم ، ونهاياتها مشطورة على هيئة صليب .

وتنفخ الفقاعة كما يلي : نغط طرف الانبوبة في الرغوة ، بحيث تكون الانبوبة في وضع عمودى ، لكي يتكون على طرفها غشاء من السائل ، ثم ننفخ فيها بهدوء .

---

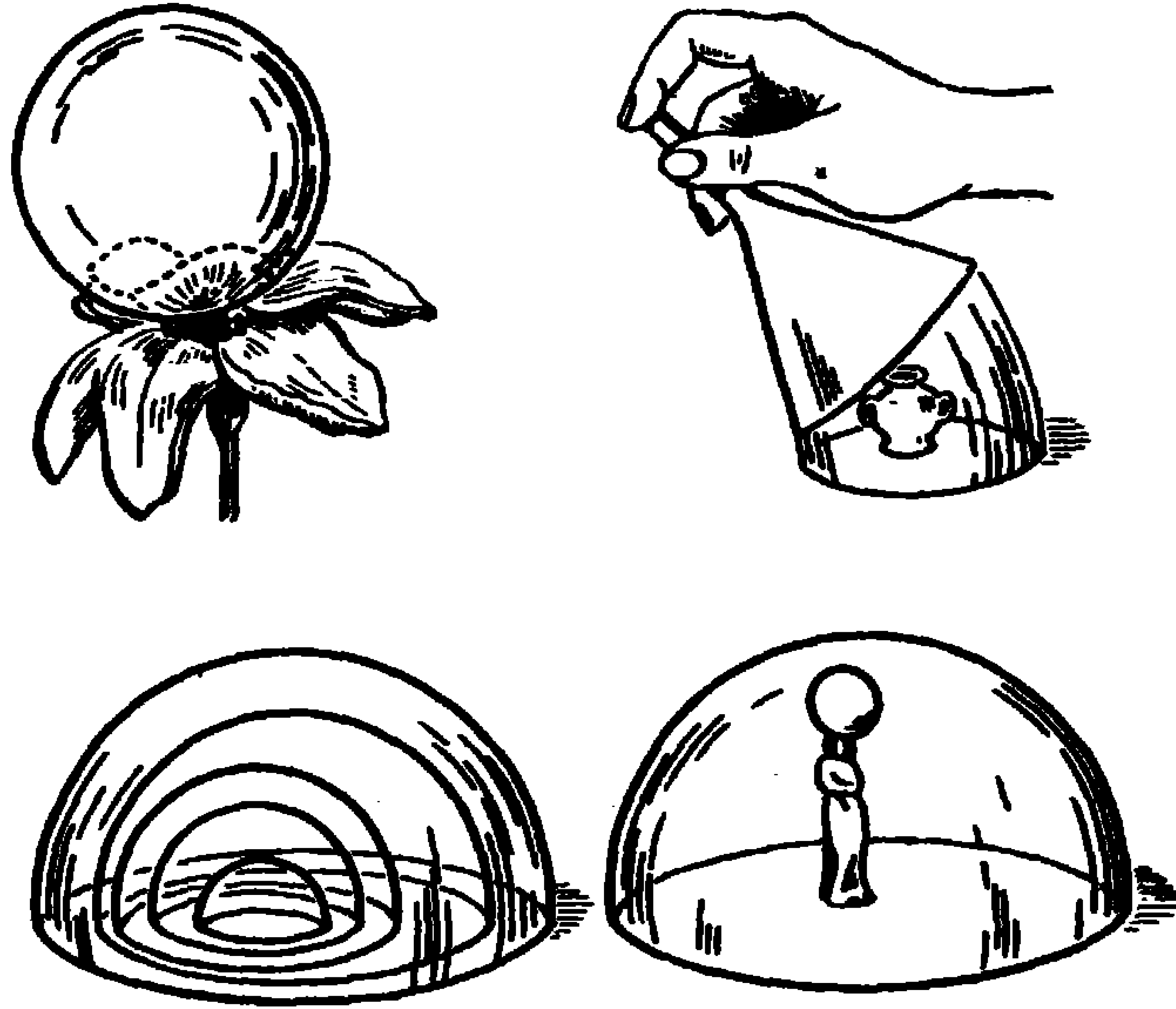
* ان الصابون المعطر يكون اقل نفعا في هذه الحالة .

ولما كانت الفقاعة عند ذلك ، قد امتلأت بهواء الرئتين الدافئ ، الذى هو اخف من هواء الغرفة ، فان الفقاعة المنفوخة ترتفع حالا الى الاعلى .

واذا استطعنا فى الحال نفخ فقاعة قطرها ١٠ سم ، تكون الرغوة صالحة ، واذا لم نستطع ذلك ، نضيف الى السائل كمية اخرى من الصابون ، الى ان نتمكن من نفخ فقاقيع بالحجم المذكور سابقا . ولكن هذه التجربة ليست كافية . بعد نفخ الفقاعة ، نغمس اصبعنا فى السائل الرغوى ونحاول ان نخرق الفقاعة بهذا الاصبع . فاذا لم تنفجر ، يمكننا ان نبدأ بالتجارب . اما اذا انفجرت الفقاعة ، فيجب عندئذ اضافة قليل من الصابون .

ويجب اجراء التجربة ببطء وحذر وهدوء . كما يجب ان تكون الاضاءة جيدة قدر الامكان ، والا فلن تظهر على الفقاعة تلك الالوان القوس قزحية .

واليكم بعض التجارب المسلية ، المتعلقة بالفقاقيع .

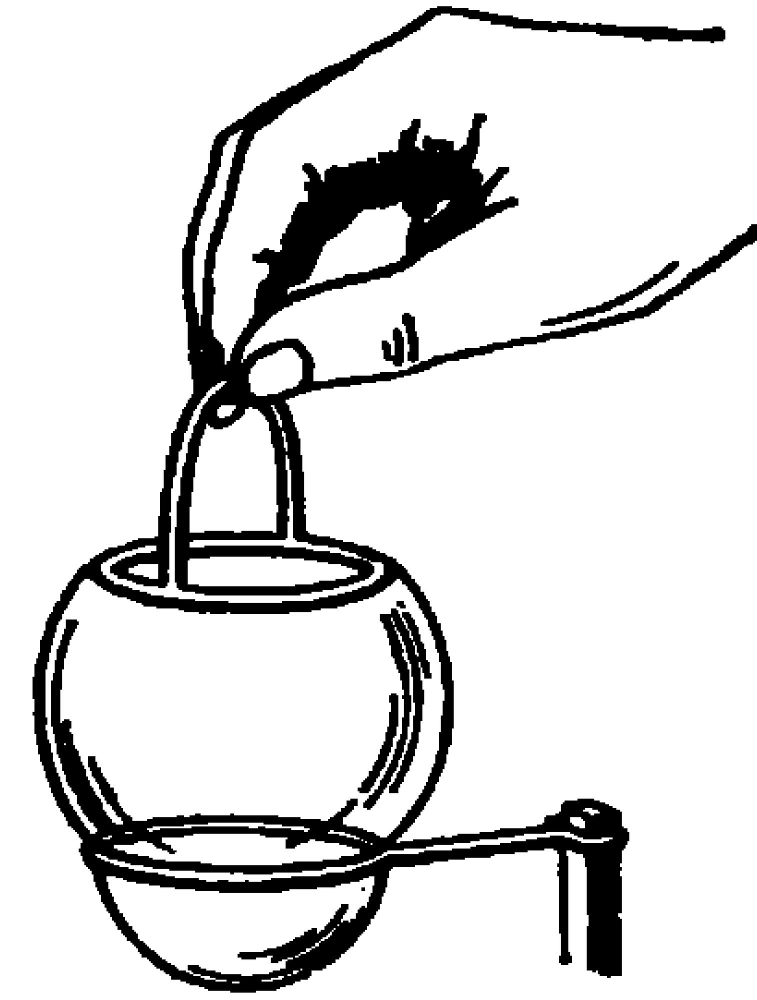


شكل ٦٦ : تجارب بفقاقيع الصابون : فقاعة صابون على زهرة ؛ فقاعة صابون حول مزهرية ؛ عدد من الفقاقيع المتداخلة مع بعضها ؛ فقاعة على رأس تمثال صغير موجود فى داخل فقاعة اخرى .

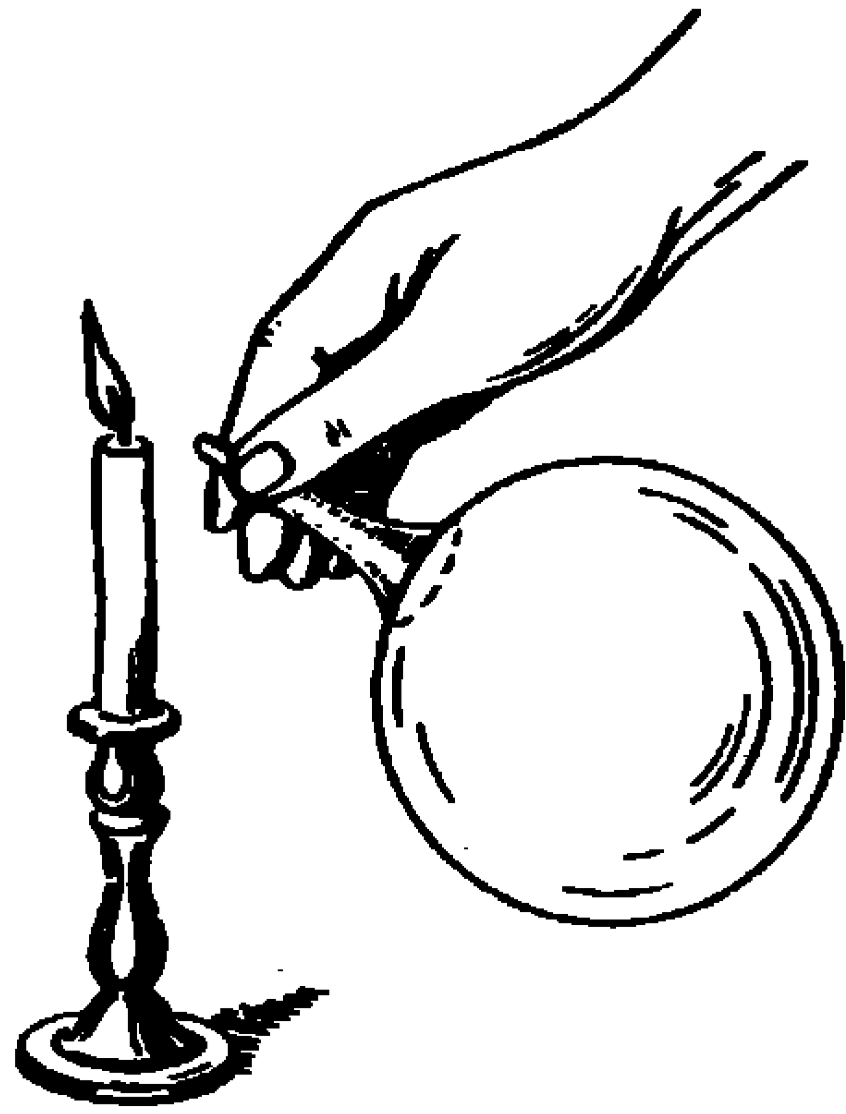
فقاعة صابون حول زهرة . نصب سائلا رغويا (رغوة صابون) فى طبق ، بحيث يصبح قعر الطبق مغطى بطبقة رغوية يتراوح سمكها بين ٢ ـ ٣ مم ، ونضع فى الوسط زهرة او مزهرية صغيرة ، ثم نغطى الطبق بقمع زجاجى . وبعد ذلك نرفع القمع ببطء ، وننفخ فى انبوبته الضيقة ، فتتكون فقاعة صابون ، وعندما يصل حجمها الى حد كاف ، نميل القمع بالطريقة الموضحة فى الشكل ٦٦ ، فتتحرر الفقاعة من تحته . عندئذ تصبح الزهرة موضوعة تحت طاقية نصف كروية شفافة ، منسوجة من غشاء فقاعة الصابون وملونة بجميع الوان قوس قزح .

ويمكن أخذ تمثال صغير بدلا من الزهرة (شكل ٦٦) . نتوج رأسه بفقاعة صابون وللقيام بذلك لابد اولا من سكب عدة قطرات من السائل الرغوى ، على رأس التمثال ، وبعد ان يتم نفخ الفقاعة الكبيرة ، نخرقها وننفخ فى داخلها فقاعة صغيرة .

عدة فقاقيع متداخلة (شكل ٦٦) . نستخدم القمع المذكور فى التجربة السابقة ، لنفخ فقاعة صابون كبيرة كما فعلنا من قبل . ثم نغمس انبوبة القش فى السائل الرغوى تماما ، بحيث يبقى طرفها الذى نضعه فى فمنا جافا ، وندخله بحذر فى جدار الفقاعة



شكل ٦٧ : كيفية عمل فقاعة صابون اسطوانية الشكل .



شكل ٦٨ : ان جدران الفقاعة تضغط الهواء الموجود فى داخلها وتطرده الى الخارج .

الاولى ، الى المركز ، ثم نسحب الانبوبة الى الوراء ببطء دون ان نوصلها الى الحافة . وننفخ الفقاعة الثانية فى داخل الفقاعة الاولى ، وتليها الفقاعة الثالثة والرابعة وهلم جرا .

ويمكن تكوين فقاعة صابون اسطوانية (شكل ٦٧) بين حلقتين سلكيتين . ولهذا الغرض تنفخ على الحلقة السفلى ، فقاعة كروية عادية ، ثم توضع الحلقة الثانية بعد تبليلها فوق هذه الفقاعة . ثم نسحبها الى الاعلى الى ان يصبح شكل الفقاعة اسطوانيا . ومن الجدير بالملاحظة هنا ، اننا اذا رفعنا الحلقة العليا الى ارتفاع اكبر من طول محيط الحلقة ، فان احد نصفى الاسطوانة يصبح ضيقا ، والنصف الآخر واسعا ، ثم ينفصل النصفان عن بعضهما ليكونا فقاعتين مستقلتين .

ويكون غشاء فقاعة الصابون فى حالة شد على الدوام ويضغط على الهواء المحصور فى داخله ، فاذا وجّهنا فوهة القمع نحو لهب شمعة ما ، لوجدنا ان قوة الغشاء الرقيق ، ليست ضئيلة جدا ، اذ انها تجعل لهيب الشمعة ينحرف جانبا بوضوح (شكل ٦٨) .

ومن الممتع ملاحظة الفقاعة ، عندما تنتقل من وسط دافئ الى آخر بارد ، اذ انها تصبح اصغر حجما من السابق ، وبالعكس ، يزداد حجمها عند انتقالها من وسط بارد الى آخر دافئ . ويكمن السر هنا ، بطبيعة الحال ، فى انضغاط وتمدد الهواء المحصور فى داخل الفقاعة .

واذا بلغ حجم الفقاعة ، مثلا عند درجة حرارة قدرها − ١٥° مئوية ، ١٠٠٠ سم^{٣} ، وانتقلت الفقاعة من ذلك الوسط البارد الى وسط تبلغ درجة حرارته + ١٥° مئوية ، فان حجمها سيزداد تقريبا بمقدار

$$١٠٠٠ \times ٣٠ \times \frac{١}{٢٧٣} = ١١٠ \text{ سم}^{٣} \text{ تقريبا.}$$

وتجدر الاشارة ايضا ، الى ان التصورات العادية ، حول عدم بقاء فقاقيع الصابون لمدة طويلة ، ليست صحيحة تماما . اذ يمكن بالعناية الملائمة ان نحفظ الفقاعة لمدة عشرة ايام كاملة . وقد قام الفيزيائى الانكليزى ديوار (المشهور بابحاثه الخاصة باسالة

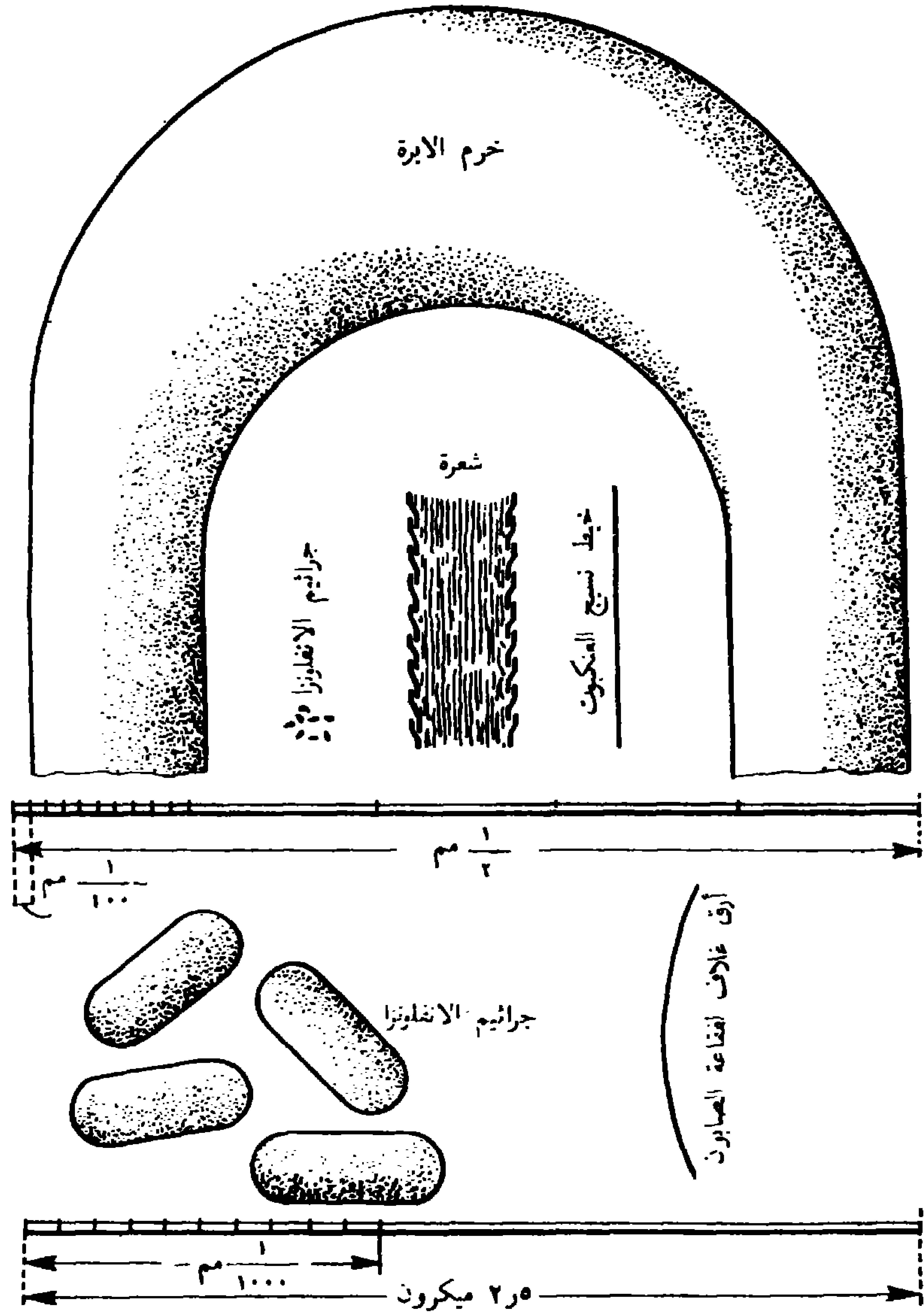
الهواء) بحفظ فقاقيع صابون فى زجاجات خاصة ، بعيدة تماما عن الغبار والجفاف والهزّات الهوائية ، وقد تمكن فى مثل هذه الظروف ، من حفظ بعض الفقاقيع لمدة شهر واكثر . وقد استطاع لورنس الامريكى ، ان يحفظ فقاقيع الصابون تحت طواقى (اجراس) زجاجية ، لعدة سنوات .

ما هو ارق شيء ؟

من المحتمل ان قليلا من الناس ، يعرفون ان غشاء فقاعة الصابون ، يعتبر من احد الاشياء المتناهية فى الرقة ، التى يمكن روءيتها بالعين المجردة . ان الاشياء العادية التى تضرب الامثال فى رقتها ، تكون على درجة كبيرة من الخشونة اذا ما قورنت بغشاء فقاعة الصابون . والاشياء التى يقال عنها « رقيقة مثل الشعرة » او « رقيقة مثل ورق السجاير » ، تكون فى الواقع ثخينة للغاية اذا ما قورنت بسمك غشاء فقاعة الصابون ، الذى يقل سمكه بـ ٥٠٠٠ مرة عن سمك الشعرة او سمك ورق السجاير . وعندما نكّبر حجم الشعرة البشرية بمقدار ٢٠٠ مرة ، يصل سمكها الى ١ سم تقريبا ، بينما لا يصل سمك مقطع غشاء الفقاعة ، عند تكبيره بنفس المقدار ، الى حد يجعلنا نراه بالعين المجردة . ولكى نستطيع روءية مقطع غشاء فقاعة الصابون ، على هيئة خط رفيع ، لا بد من تكبيره بمقدار ٢٠٠ مرة اخرى . اما اذا كبّرنا الشعرة بهذا القدر (٤٠٠٠٠ مرة) ، فسيزيد سمكها على ٢ م . والشكل ٦٩ ، يعطينا صورة واضحة للنسب المذكورة .

الاصابع التى لا تتبلل بالماء

ضع قطعة نقود على طبق مسطح كبير ، ثم صب الماء فى الطبق الى ان يغطى قطعة النقود ، واطلب من ضيوفك ان يلتقطوا قطعة النقود من الماء ، بايديهم العارية ، دون ان يبللوا اصابعهم . ان هذه المسألة التى يبدو ان تحقيقها يستحيل ، يمكن حلها بسهولة ، باستخدام قدح وقطعة ورق ملتهبة . نشعل الورقة ، ونضعها وهى ملتهبة فى داخل



شكل ٦٩ : الرسم العلوى – خرم الابرة ، شعرة واحدة ، الجراثيم (العصيات) وخيط نسيج العنكبوت ، مكبرة ٢٠٠ مرة . الرسم السفلى – العصيات وسمك غلاف فقاعة الصابون ، مكبرة ٤٠٠٠٠ مرة .
١ ميكرون = ٠٠٠١ر٠ سم .

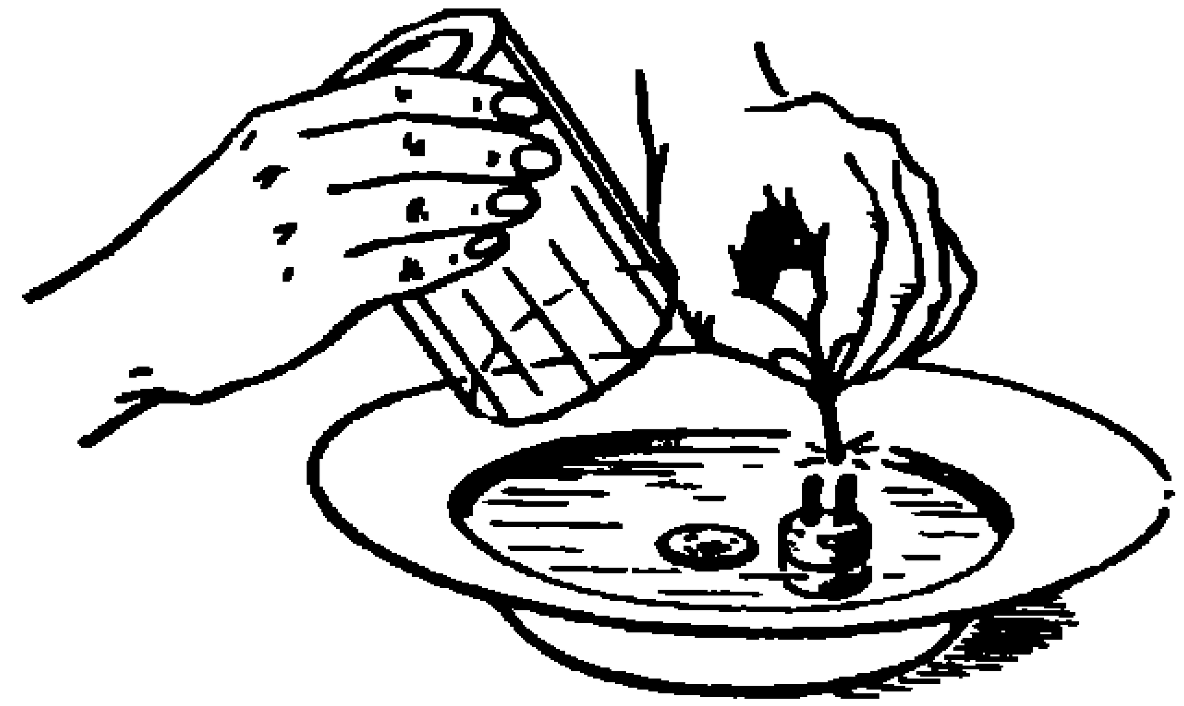
القدح ، ثم نقلب القدح ونضعه بسرعة على الطبق بالقرب من قطعة النقود . وعند ذلك سوف تنطفئ الورقة المشتعلة ويمتلئ القدح بدخان ابيض ، وبعد هذا يتجمع الماء الموجود فى الطبق برمته ، تحت القدح . اما قطعة النقود فتبقى فى مكانها بالطبع ، وتجف بعد دقيقة واحدة ، وعندئذ يمكننا التقاطها دون ان تتبلل اصابعنا .

فما هى القوة التى دفعت الماء الى القدح ، وجعلته يقف عند مستوى معيّن ؟

انها قوة الضغط الجوى . ان الورقة الملتهبة عملت على تدفئة الهواء الموجود داخل القدح ، وبذلك ارتفع ضغطه ، وخرج قسم منه الى الخارج . وعند انطفاء الورقة الملتهبة ، برد الهواء مرة اخرى . عندئذ اصبح ضغطه ضعيفا ، فاندفع الماء الى القدح تحت تأثير الضغط الجوى فى الخارج .

ويمكن بدل الورقة ، استخدام عيدان ثقاب بعد حشرها فى قرص صغير من الفلين (شكل ٧٠) .

وكثيرا ما نسمع او نقرأ تفسيرات خاطئة ، متعلقة بهذه التجربة القديمة * ، ومن تلك التفسيرات على الاخص ، القول بان « احتراق الاكسجين » يؤدى الى تقليل كمية الغاز الموجود تحت القدح . ان هذا التفسير خاطئ جدا لان السبب الرئيسى يكمن فى تدفئة الهواء فقط ، وليس فى استهلاك قسم من الاكسجين عند احتراق قطعة الورق الملتهبة . وتستخلص هذه النتيجة ، اولا ، من امكانية القيام بهذه التجربة بدون استخدام ورقة ملتهبة ، بل بمجرد تدفئة القدح بالماء الحار . وثانيا ، اذا استخدمنا بدل الورقة الملتهبة ، قطعة من القطن مبللة بالكحول ، وهى تشتعل لمدة اطول وتسخّن الهواء بصورة



شكل ٧٠ : كيفية التقاط قطعة النقود من الماء ، بدون تبليل الاصابع .

* ان اول من وصف هذه التجربة وفسرها تفسيرا صحيحا ، هو الفيزيائى القديم فيلون البيزنطى ، الذى عاش فى القرن الاول قبل الميلاد .

اشد ، لوجدنا ان الماء يرتفع تقريبا الى منتصف القدح ، بينما المعروف عن الاكسجين ، انه يشغل $\frac{1}{5}$ حجم الهواء باجمعه فقط . واخيرا ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، ان الاكسجين « المحترق » ، يخلّف وراءه غاز ثاني اكسيد الكربون وبخار الماء ، والحقيقة ، فان الغاز يذوب فى الماء . اما البخار فيبقى ليحل محل قسم من الاكسجين .

كيف نشرب ؟

هل ان هذا السؤال يستحق التفكير ؟ بالطبع . فعندما نشرب ، نقرب القدح او الملعقة المحتوية على السائل ، من الفم ، ثم نرتشف السائل الذى فيها . ان ارتشاف السائل بهذه الطريقة البسيطة التى اعتدنا عليها ، يحتاج الى تفسير . لماذا يندفع السائل الى فمنا ؟ وما الذى يدفعه الى ذلك ؟ السبب هو اننا عند الشرب ، نوسّع القفص الصدرى ، وبذلك نخلخل الهواء الموجود فى الفم ، وتحت تأثير الضغط الجوى ، يندفع السائل الى الفراغ الذى يكون فيه الضغط اقل ، وبذلك يدخل الى الفم .

وهنا يحدث للسائل نفس الشىء الذى يحدث له فى الاوانى المستطرقة ، اذا خلخلنا الهواء فوق احد الاوانى المذكورة ، لان السائل سيرتفع فى هذا الاناء تحت تأثير الضغط الجوى . وعلى العكس من ذلك ، لو وضعنا عنق الزجاجة فى فمنا ، واردنا ان نرتشف منها الماء ، لما استطعنا القيام بذلك مهما بذلنا من جهد ، وذلك لان ضغط الهواء فى داخل الفم يساوى ضغط الهواء الموجود فى الزجاجة فوق الماء .

وهكذا فاننا على وجه التدقيق ، لا نشرب بالفم فقط ، بل وبالرئتين ايضا ، لأن توّسع الرئتين بالذات يؤدى الى اندفاع السائل نحو الفم .

قمع محسن

ان كل من قام بصب سائل ما فى قنينة زجاجية بواسطة قمع ، يعرف انه لابد من رفع القمع الى الاعلى من وقت لآخر ، والا فلن ينساب منه السائل . ان الهواء المحصور فى داخل القنينة ، لا يجد له منفذا ، فيضغط على الماء الموجود فى القمع ويمنعه من

الانسياب . وفي الحقيقة ، فان قليلا من السائل ينساب الى الاسفل ، بحيث ينضغط الهواء الموجود في القنينة بعض الشيء ، نتيجة لضغط السائل . ولكن ستكون للهواء المحصور في حجم مصغر ، مرونة عالية ، تكفي لجعل السائل الموجود في القمع يتوازن مع ضغط الهواء . ومن المفهوم اننا برفع القمع الى الاعلى ، نفتح منفذا لخروج الهواء المضغوط الى الجو ، وعندئذ يبدأ السائل بالانسياب من جديد .

ولذلك فمن المفيد عمليا ، انتاج القمع بحيث يحتوي قسمه الضيّق على نتوءات طولية على سطحه الخارجي ، وهذه النتوءات تحول دون التصاق القمع بعنق القنينة الزجاجية .

طن خشب وطن حديد

هناك سؤال هزليّ معروف لدى الجميع هو : ايهما اثقل ، طن من الخشب ام طن من الحديد ؟ وعادة ، يأتي الجواب بلا تفكير ، بان طن الحديد اثقل ، الامر الذي يثير الضحك بين السامعين .

وربما يتعالى ضحك الناس الظرفاء ، اذا اتاهم الجواب بان طن الخشب اثقل من طن الحديد . يبدو ان هذا الجواب لا يصدق مطلقا ، ولكنه صحيح بكل معنى الكلمة .

وتفسير ذلك هو ان قانون ارخميدس لا ينطبق على السوائل فقط ، بل وينطبق على الغازات ايضا . ان كل جسم موجود في الهواء ، يفقد من وزنه مقدارا يساوي وزن الهواء الذي يزيحه الجسم . وبالطبع ، فان الخشب والحديد ايضا ، يفقدان جزءا من وزنيهما في الهواء . ولكي نحسب وزنيهما الحقيقيين ، يجب اضافة الفقدان . وهكذا ، فان الوزن الحقيقي للخشب في هذه الحالة يساوي ١ طن + وزن الهواء الذي يزيحه الخشب ، والوزن الحقيقي للحديد يساوي ١ طن + وزن الهواء الذي يزيحه الحديد . ولكن طن الخشب يشغل حجما اكبر بكثير من الحجم الذي يشغله الحديد (بـ ١٥ مرة) . ولذلك ، فان الوزن الحقيقي لطن الخشب ، اكبر من الوزن الحقيقي لطن الحديد ! واذا اردنا التعبير الدقيق ، لوجب علينا ان نقول بان الوزن الحقيقي للخشب الذي يزن في الهواء

طنا واحدا ، اكبر من الوزن الحقيقي للحديد الذى يزن فى الهواء طنا واحد ايضا . وبما ان طن الحديد يشغل حجما قدره $\frac{١}{٨}$ م٣ ، بينما يشغل طن الخشب حوالى ٢م٣ ، فان الفرق بين وزنى الهواء المزاح فى الحالتين ، يجب ان يساوى ٥ر٢ كجم تقريبا . وهكذا يكون الوزن الحقيقي لطن الخشب اكبر من الوزن الحقيقي لطن الحديد بمقداى ٥ر٢ كجم .

الرجل الذى فقد وزنه

ان الحلم الذى يراود الكثيرين فى مرحلة الطفولة ، هو ان يصبح جسمنا خفيفا ليس مثل الزغابة فحسب ، بل اخف من الهواء * ، لكى نستطيع بتخلصنا من قيود الجاذبية المزعجة ، ان نرتفع بحرية فى الجو اينما اردنا . وعند التفكير فى ذلك ، يغيب عن بال الناس شيء واحد ، هو انهم يستطيعون ان يتحركوا على الارض بحرية ، لسبب واحد فقط ، هو ان اجسامهم اثقل من الهواء . واذا اردنا الحقيقة ، فاننا « نعيش على قاع المحيط الهوائى » — كما عبر عن ذلك العالم توريتشيللى . واذا اصبحنا لسبب ما ، اخف من الهواء ، لتحتم علينا ان نرتفع سباحة الى سطح هذا المحيط الهوائى . ولحدث لنا نفس الشيء الذى حدث لذلك العسكرى المذكور فى احدى روايات بوشكين ، عندما قال « لقد شربت كلّ ما فى القنينة ، صدق او لا تصدق — ولكنى فجأة وجدت نفسى معلقا فى الهواء مثل الريشة » . ونحن كذلك ، كنا سنرتفع فى الهواء لعدة كيلومترات بكاملها الى ان نصل المنطقة ، التى تكون فيها كثافة الهواء المخلخل ، مساوية لكثافة اجسامنا . وهكذا ، فان احلام التحليق بحرية فوق الجبال والوهاد ، ستتبخر فى الحال ، وذلك لاننا بتحررنا من قيود الجاذبية ، سنصبح فى الحال مقيدين باصفاد قوة اخرى هى التيارات الهوائية .

* ان الزغابة — خلافا للفكرة الشائعة — اثقل من الهواء بمئات المرات . وهى تحلق فى الجو لسبب واحد ، هو ان مساحة سطحها كبيرة جدا ، بحيث تكون مقاومة الهواء لحركتها هائلة اذا ما قورنت بوزنها .



شكل ٧١ : قال بايكرافت : انا هنا يا صديقى !

وقد اختار الكاتب ويلز مثل هذه الحالة الشاذة ، ليجعل منها موضوعا لاحدى قصصه الخيالية .

اراد شخص بدين جدا ، ان يخفف من وزنه ، مهما كلفه الامر . ويبدو انه كانت فى حوزة القاص وصفة عجيبة ، تجعل الشخص البدين يتخلص من وزنه الثقيل جدا . وقد أخذ الرجل البدين من القاص ، تلك الوصفة ، وشرب الدواء — وقد اصيب

القاص بالذهول ، لتلك المفاجأة التى لم يتوقعها ، فعندما أتى لزيارة صديقه البدين وطرق عليه الباب :

« مضت فترة طويلة دون ان يفتح الباب . وسمعت صوت المفتاح وهو يدور فى ثقبه ، وتبعه صوت بايكرافت (وهو اسم الرجل البدين) قائلا :

ـ ادخل ..

ادرت مقبض الباب وفتحته . وقد توقعت بالطبع ان ارى بايكرافت ، ولكنه لم يكن موجودا ! وقد كانت الغرفة غير منتظمة ، فالاطباق والاوانى داخلة بين الكتب ، وكانت ادوات الكتابة وبعض الكراسى مقلوبة . اما بايكرافت ، فلم يكن موجودا ...

ـ انا هنا يا صديقى ! اقفل الباب ..

قال ذلك ، وعندئذ عثرت عليه . كان موجودا عند افريز السقف ، فى الزاوية القريبة من الباب ، كما لو ان احدا ما قد لصقه بالسقف تماما . وقد بدا الغضب على وجهه ، الذى كان يعبر عن الرعب . فقلت له :

ـ اذا حدث وسقطت على الارض ، فستنكسر رقبتك .

فاجاب :

ـ تمنيت لو حدث ذلك .

فسألته :

ـ كيف بستطيع من كان بعمرك ووزنك ان يزاول مثل هذه التمارين الرياضية ... ولكن يا للشيطان .. كيف استطعت التعلق بهذا الشكل ؟

ولاحظت فجأة ، انه لم يتعلق بشيء مطلقا ، ولكنه كان يسبح فى الاعلى ، مثل الفقاعة المنفوخة بالغاز .

وحاول بجهده ان يبتعد عن السقف ، ويزحف نحوى الى الاسفل بمحاذاة الجدار. وامسك باطار اللوحة المعلقة ، فانجذب الاطار .. اما هو ، فطار الى السقف ثانية . واصطدم به ، وعندئذ فهمت لماذا كانت الاجزاء والزوايا البارزة من جسمه ، ملوثة بالطباشير (الجير) . وحاول مرة اخرى وبحذر شديد ، ان يهبط عن طريق موقد التدفئة .

ثم قال وهو يلهث :
– لقد كان الدواء ناجحا جدا ، اذ جعلني افقد وزني تماما .
وهنا ادركت كلّ شيء ، وقلت له :
– بايكرافت ! لقد كنت بحاجة الى التخلص من البدانة ، التي كنت تسميها دائما بالوزن .. والآن سوف اساعدك على الوقوف– قلت ذلك وامسكت بيده ثم سحبته الى الاسفل .
وأخذ يتراقص في الغرفة ، ويحاول ان يجد موطئا لقدميه ، اينما كان . لقد كان منظره مضحكا ! وقد كنت كثير الشبه ، بمن يحاول منع الشراع من الحركة عندما تكون الرياح قوية .
وقال بايكرافت البائس :
– ان هذه المنضدة تصمد للرقص ، فهي صلبة وثقيلة جدا .. فهل لك ان تحشرني تحتها ؟
وقد فعلت ما طلب مني . ولكنه وهو محشور تحت تلك المنضدة ، كان يتأرجح هناك مثل بالون مربوط ، لا يهدأ حتى لدقيقة واحدة . ثم قلت له :
– هناك شيء واضح .. وهو بالذات ، الشيء الذي يجب الا تفعله . فاذا فكرت بالخروج من البيت مثلا ، فانك سوف ترتفع الى الاعلى اكثر فاكثر ..
واقترحت عليه وجوب التكّيف لظروفه الجديدة . والمحت بانه سوف لا يجد صعوبة في تعلم المشي على السقف باستخدام يديه .
ثم قال متذمرا :
– انني لا استطيع النوم .
واشرت قائلا ، انه من الممكن تماما ان نثّبت بشبكة السرير حشيّة وثيرة ، ثم نربط معها كافة الاشياء الداخلية بواسطة شرائط ، ونشد على الجنب لحافا وشرشفا .
واحضرنا له سلّما خشبيا ووضعناه في الغرفة ، كما وضعنا الطعام كله فوق خزانة الكتب . واهتدينا كذلك الى بدعة طريفة ، تمكن بايكرافت بفضلها ، ان يهبط الى

الارض متى اراد ذلك . وتتلخص تلك البدعة فيما يلي :

كانت « الموسوعة البريطانية » موضوعة على الرف العلوى للخزانة المفتوحة ، فاذا اراد بايكرافت الهبوط الى الارض ، فلن يكلفه ذلك اكثر من تناول جزءين من اجزاء الموسوعة بكلتا يديه .

وقد بقيت معه فى الشقة لمدة يومين كاملين . واستطعت بواسطة المطرقة والمثقب ان اقيم له كافة التجهيزات المبتكرة الممكنة ، وقد مددت له سلكا لكى يستطيع ان يصل الى الاجراس ، وغير ذلك .

ثم جلست بجوار الموقد . اما هو فقد كان معلقا فى زاويته المفضلة ، عند الافريز بعد ان غطى السقف ببساط تركى ، وكانت تراودنى عندئذ فكرة جعلتنى اهتف قائلا :

ـ بايكرافت ! لا حاجة لنا بكل ما فعلناه فلو وضعت بطانة من الرصاص تحت ثيابك لانتهى الامر !

وكاد بايكرافت ان يبكى من الفرح عندما سمع ذلك . واستطردت الحديث قائلا :

ـ يجب شراء صفائح من الرصاص والقيام بخياطتها تحت ملابسك . البس احذية تحتوى على نعال من رصاص ، واحمل بيديك حقيبة من الرصاص الصلب ، وسيصبح كل شىء على ما يرام ! وسوف لا تكون بعد ذلك اسيرا هنا ، حيث تستطيع السفر الى الخارج والقيام برحلات بعيدة . وعندئذ لن يخيفك تحطم السفينة مطلقا ، فما عليك فى تلك الحالة ، الا ان تلقى عن جسمك بعض الملابس او كلها ، ويكون فى استطاعتك دائما ان تطير فى الهواء » .

ان ذلك كله ، يبدو من النظرة الاولى مطابقا تماما لقوانين الفيزياء . ولكن يجب الا ندع بعض تفاصيل القصة الاخرى ، تمرّ دون ان نعترض عليها . واهم اعتراض ، هو ان الرجل البدين ، بالرغم من كونه عديم الوزن ، لم يكن قادرا على الارتفاع الى سقف الغرفة .

وبالفعل ، كان على بايكرافت ، حسب قانون ارخميدس ، ان يسبح نحو السقف

فى حالة واحدة هى : لو كان وزن ثيابه وكافة الحاجيات الموجودة فى جيوبه ، اقل من وزن الهواء الذى يزيحه جسم الرجل البدين . ماذا يساوى وزن الهواء الذى يزيحه الجسم ؟ ليس من الصعب حساب ذلك ، اذا تذكرنا ان وزن جسمنا ، يساوى تقريبا وزن نفس الحجم من الماء . ويبلغ معدل وزن جسم الانسان ٦٠ كجم ، ووزن نفس الحجم (حجم الجسم) من الماء ، يساوى نفس المقدار السابق تقريبا . اما الهواء العادى الكثافة فهو اخف من الماء بمقدار ٧٧٠ مرة ، وهذا يعنى ان وزن الهواء الذى يزيحه الجسم ، يساوى ٨٠ جم فقط . ومهما كان السيد بايكرافت بدينا ، فلم يكن وزنه يزيد على ١٠٠ كجم ، وبالتالى لم يكن بمقدوره ان يزيح اكثر من ١٣٠ جم من الهواء . وليس من المعقول الا تزن ثياب بايكرافت مع حذائه وساعته ومحفظته وغير ذلك ١٣٠ جم ؟

اذا كان الامر كذلك ، لوجب على الرجل البدين ، البقاء على ارض الغرفة ، ولكن فى وضعية حرجة ، ومع ذلك فلن يسبح نحو السقف «مثل بالون مزبوط» . وكان يتحتم على بايكرافت ان يسبح الى السقف فعلا ، لو تعرّى من ثيابه تماما . اما عندما كان مرتديا ثيابه ، فقد كان شبيها بشخص مربوط بمنطاد ، فلو قام بجهد بسيط او قفزة هادئة ، لحمله المنطاد الى ارتفاع شاهق فوق سطح الارض ، ثم هبط به ثانية الى الاسفل بكل سلاسة ، عندما تكون الرياح ساكنة .

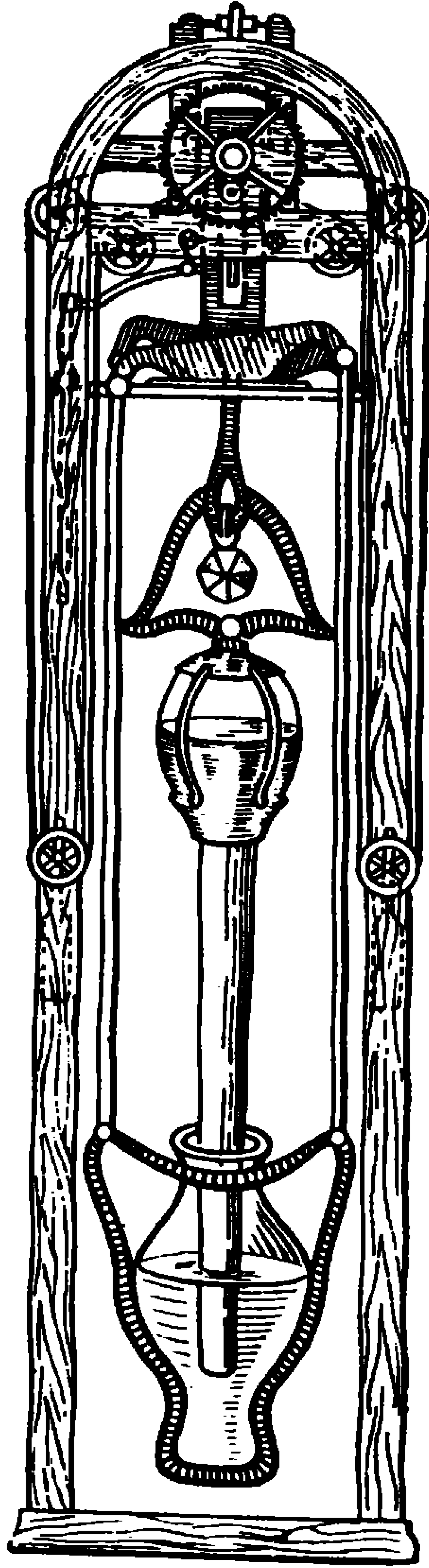
ساعة «دائمة الحركة»

لقد بحثنا فى هذا الكتاب عددا من «المحركات الدائمة الحركة» المزعومة ، وبيّنا عدم جدوى التفكير بمحاولة اختراعها .

ولنتحدث الآن عن محرك «الطاقة الممنوحة» ، اى عن ذلك المحرك ، القابل للعمل المستمر دون ان نعتنى بامره ، لانه يتزوّد بالطاقة اللازمة لحركته ، من مصادرها التى لا تنضب ، الموجودة فى الوسط المحيط.

لا بد وان معظم القراء قد شاهدوا البارومتر — الزئبقى او المعدنى . ان سطح العمود الزئبقى فى البارومتر الاول ، يكون دائما اما فى حالة ارتفاع او فى حالة انخفاض ، تبعا لتغيّر الضغط الجوى . وفى البارومتر المعدنى يكون المؤشر دائم التذبذب ، لنفس السبب السابق . وفى القرن الثامن عشر ، استخدم احد المخترعين حركات البارومتر هذه ، لتشغيل آلية الساعة . واستطاع بهذا الشكل صنع ساعة تشتغل من تلقاء نفسها دون ان تتوقف او تحتاج الى اى تدوير . وقد شاهد العالم الفلكى والميكانيكى الانكليزى المشهور فيرجوسون ، تلك الساعة الجذابّة ، وكتب (عام ١٧٧٤) يصف مشاهدته لها قائلا : « لقد فحصت الساعة المذكورة اعلاه ، التى تتحرك باستمرار ، بواسطة ارتفاع وانخفاض الزئبق الموجود فى بارومتر خاص الصنع ، وليس هناك ما يدعو الى التفكير بان تلك الساعة ستتوقف فى وقت ما ، وذلك لان القوة المحركة المخزونة فيها ، تكفى لتشغيل الساعة لمدة عام كامل ، حتى بعد ابعاد البارومتر نهائيا . ويجب ان اقول بكل صراحة ، لقد ظهر لى بعد ان تفقدت الساعة مدة طويلة ، انها اظرف آلة رأيتها حتى الآن ، من كلتا الناحيتين ، التصميمية والتنفيذية » .

ولكن للاسف ، لم تحفظ تلك الساعة الى يومنا هذا . اذ انها سرقت ولم يعثر عليها بعد ذلك . ولحسن الحظ ، بقيت مخططاتها التصميمية التى رسمها العالم فيرجوسون ،



شكل ٧٢ : تركيب محرك الطاقة الموهوبة ، الذى تم صنعه فى القرن الثامن عشر .

وبذلك نستطيع اعادة تركيبها من جديد . تتكون آلية الساعة من بارومتر زئبقى ضخم ، يحتوى على ١٥٠ كجم من الزئبق ، الموضوع فى وعاءين زجاجيين ، ادخل عنق احدهما فى فوهة الآخر بصورة عمودية ، وعلق كلاهما باطار (شكل ٧٢) . وقد تم تثبيت الوعاءين بحيث يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض . فعندما يرتفع الضغط الجوى ، تقوم مجموعة من العتلات المصنوعة بمهارة ، بخفض الوعاء العلوى ورفع الوعاء السفلى . اما عندما ينخفض الضغط الجوى ، فيحدث العكس . وتعمل هاتان الحركتان على تدوير عجلة مسننة صغيرة ، فى اتجاه واحد على الدوام . ولاتتوقف العجلة الا عندما لا يحدث اى تغيّر فى الضغط الجوى ، ولكن فى تلك الاثناء ، تستمر الآلية فى حركتها ، باستخدام الطاقة الكامنة لهبوط الاثقال المربوطة بها . وليس من السهل جعل الاثقال ترتفع الى الاعلى فى وقت واحد ، وتعمل عند هبوطها على ادارة آلية الساعة . ولكن مهارة صناع الساعات القدماء ، سهلت القيام بهذه المهمة . حتى لقد ظهر ان طاقة تغيّر الضغط الجوى ، كانت تفيض عن الحاجة ، اى ان الاثقال أخذت ترتفع اسرع مما تهبط ، ولهذا فقد ظهرت الحاجة الى جهاز خاص لمنع هبوط الاثقال بصورة دورية ، كلما وصلت الى النقطة العليا .

ومن السهل ملاحظة الاختلاف المبدئى المهم بين هذه الساعة وامثالها من محركات « الطاقة الممنوحة » ، وبين المحركات « الدائمة الحركة » .

وفى محركات « الطاقة الممنوحة » لا تتولد الطاقة من العدم ، كما كان يفكر اولئك الذين اخترعوا المحرك الدائم الحركة ، بل انها تستمد من الخارج ، وفى حالتنا هذه — من المحيط الجوى ، حيث تكون مخزونة فى اشعة الشمس . ومن الناحية العملية ، فقد كان من الممكن الا تقل فائدة محركات « الطاقة الممنوحة » عن فائدة المحركات « الدائمة الحركة » الحقيقية ، لو لم يكن صنعها يكاف مبالغ طائلة بالمقارنة مع ما تعطيه من طاقة (كما يحدث فى اكثر الاحيان) .

وستتعرف فيما بعد ، على انواع اخرى من محركات « الطاقة الممنوحة » ونوضح بالامثلة ، لماذا يكون استخدام مثل هذه الآلات فى الصناعة ، كقاعدة ، غير مثمر على الاطلاق .

الفصل السادس | الظواهر الحرارية

متى تكون السكة الحديدية اطول ـ صيفا ام شتاء ؟

ما هو طول السكة الحديدية الواصلة بين مدينتى موسكو ولينينغراد ؟ لقد اجاب احدهم على هذا السؤال قائلا :

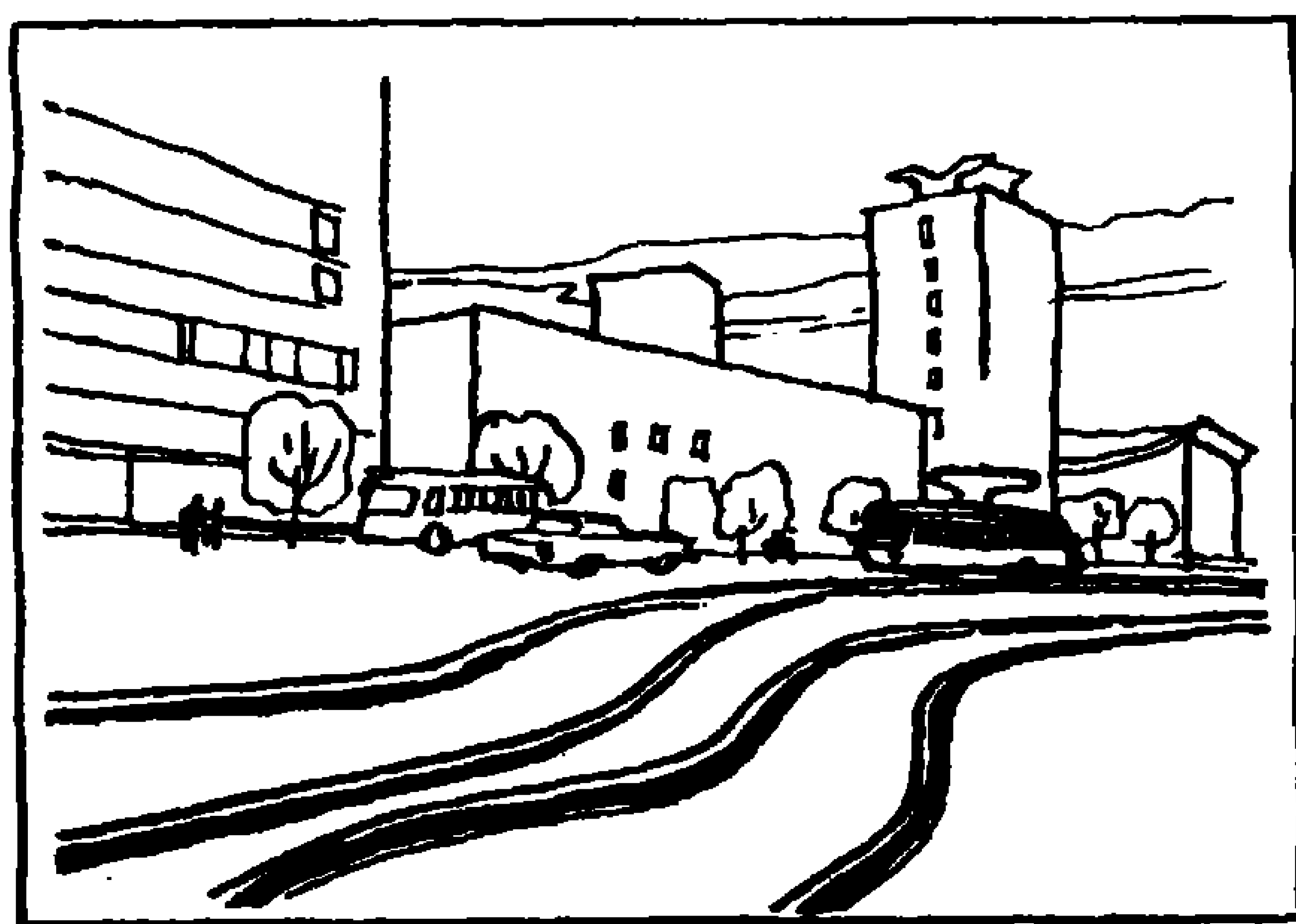
ـ طولها ٦٤٠ كم في المعدّل ، وفي الصيف تكون اطول مما هي عليه في الشتاء بمقدار ٣٠٠ م .

وهذه الاجابة غير المتوقعة ، ليست سخيفة كما قد يبدو . ذلك لاننا لو قصدنا بطول السكة الحديدية ، هو طول القضيب الحديدى الصلب ، عندئذ يجب ان يكون في الصيف اطول مما هو عليه في الشتاء . اذ يجب عدم تجاهل الظاهرة المعروفة وهي ان القضبان الحديدية تتمدد نتيجة التسخين بمقدار يزيد عن $\frac{١}{١٠٠٠٠٠}$ من طولها ، كلما ارتفعت درجة الحرارة ، درجة مئوية واحدة . وفي ايام الصيف القائظة ، قد تصل درجة حرارة القضيب الى ما يتراوح بين ٣٠ ـ ٤٠° مئوية واكثر ، واحيانا يسخن القضيب تحت حرارة الشمس ، بدرجة شديدة بحيث تكتوى اليد عند ملامسته . وتنخفض درجة حرارة القضيب في ايام البرد القارص الى ـ ٢٥° مئوية واقل . فاذا فرضنا ان الفرق بين درجة الحرارة صيفا وشتاء هو ٥٥° مئوية . فبضرب الطول الكلي للقضيب ، وهو ٦٤٠ كم في $\frac{١}{١٠٠٠٠٠}$ وفي ٥٥ ، ينتج حوالى $\frac{١}{٣}$ كم . يستنتج من ذلك ، ان طول السكة الحديدية الواصلة بين موسكو ولينينغراد . يكون في الصيف اطول مما هو عليه في الشتاء بمقدار $\frac{١}{٣}$ كم ، اى حوالى ٣٠٠ م .

والذى يتغيّر فى هذه الحالة ، ليس طول الطريق بالطبع ، ولكن مجموع اطوال جميع القضبان فقط . وهذا الامر يختلف عن سابقه . ذلك لان قضبان السكة الحديدية غير متصلة ببعضها اتصالا محكما ، بل توجد بينها فواصل ـ احتياط لتمدد القضبان بحرية عند تسخنها (عندما يصل طول القضبان الى ٨ م ، يجب ان يكون طول الخلوص ـ الفاصلة ـ ٦ مم عند درجة الصفر المئوية . ولسد الخلوص سدا محكما ، يجب رفع درجة حرارة القضيب الى ٦٥° مئوية .

وعند مد خطوط الترام ، لا يجوز ترك خلوصات ـ فواصل ـ وذلك بموجب الشروط التكنيكية . وهذا لا يسبب فى العادة ، تعرج القضبان ، لان تثبيتها فى داخل الارض ، يقلل من تفاوتات درجة الحرارة ، بالاضافة الى ان طريقة تثبيتها بالذات ، تحول دون تعرجاتها الجانبية . ومع ذلك فان قضبان الترام تتعرج فى ايام القيظ الشديد ، كما يتضح ذلك من الرسم المبين فى الشكل ٧٣ ، المستنسخ عن صورة فوتوغرافية .

واحيانا يحدث نفس الشيء لقضبان السكة الحديدية . وحقيقة الامر ، هى ان عربة القطار اثناء سيرها فوق المنحدرات تسحب معها قضبان السكة الحديدية ـ وفى بعض الاحيان تسحب القضبان والعوارض معا ـ مما يؤدى اخيرا الى تلاشى الخلوصات



شكل ٧٣ : تقوس سكك الترام الحديدية نتيجة لتسخين الشديد باشعة الشمس .

فى تلك الاقسام المذكورة من الطريق ، فتلتصق اطراف القضبان مع بعضها التصاقا محكما .

ويتضح من حسابنا السابق ، ان مجموع اطوال جميع القضبان ، يزداد على حساب الطول الكلى للخلوصات ، ويصل التمدد الكلى فى ايام الصيف القائظ الى ٣٠٠ م ، بالمقارنة مع طوله فى ايام البرد القارص .

وهكذا تكون السكة الحديدية الواصلة بين مدينتى موسكو ولينينغراد ، فى الصيف ، اطول بمقدار ٣٠٠ م ، مما هى عليه فى الشتاء .

سرقة لا يعاقب عليها القانون

على خط لينينغراد ــ موسكو ، تفقد فى كل شتاء ، مئات الامتار من اسلاك التلفون والتلغراف ، دون ان يعثر لها على اثر ، ولم يقلق هذا الامر احدا من الناس ، بالرغم من معرفة هوية السارق معرفة تامة .

وبالطبع ، فان القارئ ايضا يعرف من هو السارق ــ انه الصقيع ! ان كل ما ذكرناه عن قضبان السكة الحديدية ، ينطبق تماما على خطوط المواصلات ، مع اختلاف واحد فقط ، هو ان اسلاك التلفون النحاسية تتمدد بالحرارة ، اكثر من تمدد الفولاذ بمرّة ونصف . ولكن لا توجد هنا اية خلوصات ، ولذلك فاننا نستطيع التأكيد بلا تحفظات ، بان الخط التلفونى لينينغراد ــ موسكو ، يكون فى الشتاء اقصر بمقدار ٥٠٠ م ، مما هو عليه فى الصيف .

ان الصقيع يسرق كل شتاء حوالى نصف كيلومتر من الاسلاك دون ان يعاقب على ذلك ، ولكنه بالمناسبة ، لا يلحق اى ضرر بعمل التلفون او التلغراف ، ويقوم فى بداية الصيف باعادة المسروقات الى مكانها بانتظام . ولكن عندما يحدث مثل هذا الانضغاط الناتج عن البرد ، فى الجسور ، لا فى الاسلاك ، تكون العواقب سيئة فى بعض الاحيان .

واليكم ما جاء في الصحف الصادرة في شهر ديسمبر (كانون الاول) عام ١٩٢٧ ، عن احدى الحوادث المماثلة :

« ان الصقيع الذي لم تعرفه فرنسا من قبل ، والذي دام عدة ايام ، عمل على الحاق ضرر كبير بجسر نهر السين ، في قلب العاصمة باريس . لقد تقاص الهيكل الحديدي للجسر نتيجة للبرد ، الامر الذي أدى الى قلع احجار رصف الطريق وتبعثرها فوقه ، ومنع مرور وسائل النقل على الجسر ، مؤقتا » .

ارتفاع برج ايفل

اذا سئلنا ما هو ارتفاع برج ايفل ، فاننا قبل ان نجيب بانه « ٣٠٠ م » ، يحتمل ان نطلب من السائل ان يوضح لنا في اى وقت من الاوقات – صيفا ام شتاء ؟

ان ارتفاع مثل هذا الانشاء الحديدي الضخم ، لا يمكن ان يبقى ثابتا عند مختلف درجات الحرارة . ونحن نعلم ان القضيب الحديدي الذي يبلغ طوله ٣٠٠ م يزداد طولا بمقدار ٣ مم ، كلما ارتفعت درجة حرارته درجة مئوية واحدة . وفي الايام الصحوة الدافئة ، يمكن ان تصل درجة حرارة البرج الحديدي في باريس الى °٤٠ مئوية ، بينما تنخفض درجة حرارته في الإيام الممطرة الباردة الى °١٠ مئوية ، وتصل شتاء الى درجة الصفر المئوي ، وحتى الى – °١٠ مئوية (ان الإيام القاسية البرد قليلة جدا في باريس) .

وكما نرى فان تغير درجة الحرارة يصل الى °٤٠ مئوية واكثر . يعني ان ارتفاع برج ايفل يمكن ان يتغيّر بمقدار ٣×٤٠ = ١٢٠ مم ، اى بمقدار ١٢ سم .

وقد لوحظ بواسطة القياسات المباشرة ، ان برج ايفل يتأثر بتغيّر درجة الحرارة ، اكثر مما يتأثر الهواء : ان البرج يسخن ويبرد اسرع من الهواء ، ويتأثر بظهور الشمس المفاجئ في الايام الغائمة ، قبلما يتأثر الهواء . وقد تم ايجاد تغيّرات ارتفاع برج ايفل ، بواسطة سلك مصنوع من سبيكة خاصة من النيكل والفولاذ ، لا يتأثر طوله بتغيّر درجة الحرارة تقريبا . وتسمى هذه السبيكة المدهشة بـ « الانفار » ، وهذه التسمية مأخوذة من اللغة اللاتينية ومعناها « لا متغيّر » .

من قدح الماء الى مقياس منسوب الماء

ان ربة البيت الخبيرة ، لا تصب الشاى فى الاقداح الا بعد ان تضع الملاعق في داخلها ، وخاصة اذا كانت الملاعق فضية .

ان هذه الطريقة الصحيحة هى وليدة التجارب اليومية فى الحياة . على اى اساس بنيت هذه الطريقة ؟

لنشرح قبل ذلك ، لماذا تتصدع الاقداح الزجاجية عند صب الماء الحار فيها .

ان السبب هو التمدد غير المنتظم للزجاج . والماء الحار عندما يصب فى القدح ، فانه لا يسخن جدرانه فى الحال ، بل يسخن اولا الطبقة الداخلية للجدران ، فى الوقت الذى لم تسخن فيه الطبقة الخارجية بعد . وتتمدد الطبقة الداخلية الساخنة فى الحال ، وتبقى الطبقة الخارجية على حالها ، وتتعرض بالتالى الى ضغط قوى من الداخل . ويحدث الانفصام ثم يتصدع الزجاج او قد ينكسر .

ولا يجب التفكير فى انه باستطاعتنا تجنب مثل هذه المفاجآت ، اذا اقتنينا اقداحا سميكة الجدران . ان الاقداح السميكة الجدران ، هى اقل الاقداح مقاومة من هذه الناحية . وهذا واضح ، لان الجدار الرقيق يسخن بسرعة اكبر . وسرعان ما تتساوى درجة الحرارة فى جميع نواحيه وبذلك يتساوى تمدده ؛ بينما فى الجدار السميك تسخن طبقة الزجاج ببطء .

ويجب الا ننسى شيئا واحدا ، وهو عندما نقوم بانتقاء الاوعية الزجاجية الرقيقة الجدران ، يجب ان نحرص على ان تكون قواعدها رقيقة ايضا ، بالاضافة الى رقة جدرانها . عندما نصب الماء الحار ، تسخن القاعدة بالدرجة الرئيسية ، فاذا كانت سميكة فان القدح سيتصدع مهما كانت رقة جدرانه . وكذلك فان الاقداح والفناجين الصينية ، المحتوية على بروزات حلقية سميكة من الاسفل ، تكون سريعة الكسر .

وكلما كان الاناء الزجاجي رقيق الجدران ، كلما امكن تعريضه للحرارة بلا خطر .

ويستخدم الكيميائيون اوان زجاجية رقيقة الجدران جدا ، ويغلون الماء فى داخلها على لهب المصباح مباشرة ، غير قلقين على سلامة الاناء .

وبالطبع ، كان باستطاعتنا ان نعتبر الاناء الذى لا يتمدد عند التسخين مطلقا ، بمثابة اناء مثالى . ان الكوارتز يتمدد بالحرارة تمددا قليلا جدا : اقل من تمدد الزجاج بما يتراوح بين ١٥ — ٢٠ مرة .

ويمكن تسخين الاناء السميك المصنوع من الكوارتز الشفاف ، الى اى حدّ نريد ، دون ان ينكسر . ويمكن بكل جرأة ، ان نرمى اناء من الكوارتز ، مسخن حتى الاحمرار ، فى ماء مثلج ، دون اى قلق * . وهذا يرجع لدرجة ما ، الى ان الموصلية الحرارية للكوارتز ، اكبر من الموصلية الحرارية للزجاج بكثير .

والاقداح لا تنكسر عند التسخن السريع فقط ، بل وعندما تتعرض الى البرودة المفاجئة ايضا . والسبب فى ذلك ، هو التقلّص غير المنتظم : عندما تبرد الطبقة الخارجية ، تتقلص وتضغط على الطبقة الداخلية بشدة ، تلك التى لم تبرد ولم تتقلص بعد . ولذلك وعلى سبيل المثال ، يجب الا يوضع البوقال الزجاجى المحتوى على مربى حار ، فى محل بارد ، او غطه فى ماء بارد وغير ذلك .

نعود الآن الى ملعقة الشاى الموضوعة فى القدح . الى اى شىء يستند عملها الوقائى ؟

ان الاختلاف الشديد بين تسخن الطبقتين الداخلية والخارجية لجدار القدح الزجاجى ، يحدث فقط ، عندما نصب فى القدح ماء حارا دفعة واحدة . والماء الدافئ لا يؤدى الى اختلاف شديد فى التسخين ، وبالتالى الى اختلاف فى تمدد مختلف اجزاء القدح ، لذا لا ينكسر القدح بتأثير الماء الدافئ .

ماذا يحدث اذن لو وضعنا فى القدح ملعقة ؟ عند ملامسة الماء الحار لقعر القدح ، فانه قبل ان يسخن الزجاج (الردئ التوصيل للحرارة) ، يعطى قسما من حرارته للموصل الجيد — للمعدن ، فتنخفض بذلك درجة حرارة الماء ، ويتحول من حار

---

* ان اناء الكوارتز ملائم للاستخدام فى المختبرات ، وذلك لان له ميزة اخرى ، هى انه صعب الانصهار : لا يلين الا عند درجة ١٧٠٠° مئوية .

الى دافئ ، ولذلك يصبح عديم الضرر تقريبا . ثم يصبح الاستمرار فى صب الشاى الحار . عملية لا تشكل اى خطر على سلامة القدح ، لانه قد سخن بعض الشئ .

وباختصار ، فان الملعقة المعدنية الموجودة فى القدح (وخاصة اذا كانت ثقيلة) ، تقلل من عدم انتظام تسخن الاخير ، وبذلك تحول دون انكساره .

ولكن ، لماذا تكون الملعقة الفضية احسن من غيرها من هذه الناحية ؟ لان الفضة موصل جيد للحرارة ، والملعقة الفضية تسلب حرارة الماء ، اسرع من الملعقة النحاسية .

ان الملعقة الفضية الموضوعة داخل قدح فيه شاى حار ، تكوى اليد ! فى حين لا توجد للملعقة النحاسية تلك الامكانية . وبهذه الدلالة نستطيع تمييز مادة الملعقة بالضبط .

ان تمدد الجدران الزجاجية ، تمددا غير منتظم ، لا يعرض سلامة اقداح الشاى وحدها للخطر ، بل ويعرض للخطر كذلك ، الاجزاء المهمة للغلايّات — مقاييس منسوب الماء ، التى تعيّن ارتفاع الماء فى الغلايّة .

ان الطبقات الداخلية لهذه المقاييس الزجاجية ، المسخنة بالماء الحار والبخار ، تتمدد اكثر من الطبقات الخارجية . ويضاف الى التمدد الناتج عن السبب المذكور ، الضغط القوى لكل من البخار والماء ، الموجودين فى انبوبة . المقياس ، الامر الذى قد يؤدى الى انفجارها بسهولة . وللحيلولة دون ذلك ، تصنع المقاييس احيانا من طبقتين من الزجاج المختلف الانواع ، بحيث يكون معامل تمدد الطبقة الداخلية ، اصغر من معامل تمدد الطبقة الخارجية .

اسطورة عن الحذاء فى الحمام

« لماذا يكون النهار فى الشتاء قصيرا ، والليل طويلا ، وفى الصيف يصبح الامر معكوسا ؟

يكون النهار فى الشتاء قصيرا ، لانه مثل بقية المواد الاخرى ، المرئية وغير

المرئية ، يتقلص متأثرا بالبرد ، اما الليل فيسخن بتأثير القناديل والمصابيح المشتعلة ، ثم يتمدد » .

ان هذا التعليل الغريب ، الذى جاء على لسان احد جنود القوزاق المتقاعدين ، فى احدى قصص تشيخوف ، يدعو الى الضحك لسخافته الواضحة . ولكن الناس الذين يستخفون بامثال هذه الافكار « الملفّقة » ، كثيرا ما يأتون انفسهم ، بنظريات قد تكون على نفس الدرجة من السخافة . من منا لم يسمع او يقرأ عن الحذاء الموجود فى الحمام ، والذى لا يدخل فى رجل صاحبه الحارة ، كما لو كان السبب فى ذلك ، « تمدد حجم القدم عند التسخّن » ؟ لقد اصبح هذا المثال المشهور نموذجيا على وجه التقريب ، بينما يفسّر بشكل سئ للغاية .

وقبل كل شيء ، فان درجة حرارة جسم الانسان ، لا ترتفع تقريبا عند وجوده فى الحمام . ان ارتفاع درجة حرارة الجسم فى الحمام ، لا يزيد على درجة مئوية واحدة ، اما فى الحمام التركى فانها ترتفع بمقدار درجتين مئويتين فقط .

ان جسم الانسان يقاوم كافة المؤثرات الحرارية للوسط المحيط به ، بنجاح ويحافظ على درجة حرارته الخاصة عند حد معيّن .

ولكن عند ارتفاع درجة حرارة الجسم بمقدار يتراوح بين ١ — ٢° مئوية ، تكون زيادة حجمه ضئيلة ، الى درجة لا يمكن ملاحظتها عند انتعال الحذاء .

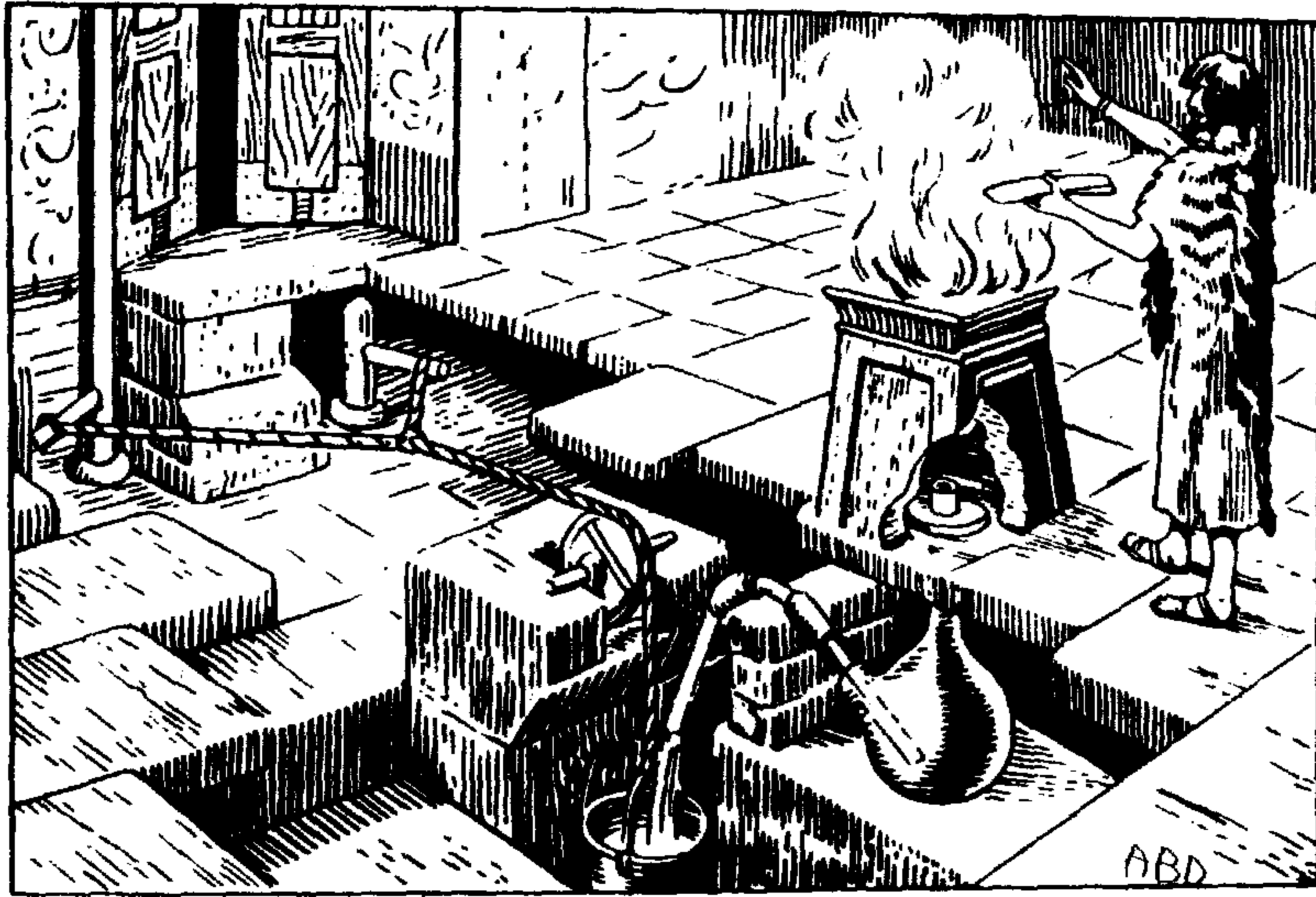
ان معامل تمدد الاجزاء الصلبة واللينة لجسم الانسان ، لا يزيد على عدة اجزاء من عشرة آلاف جزء . وبالتالى ، فان زيادة عرض بطن القدم وسمك الساق ، يمكن ان تصل الى ٠,٠١ سم لا اكثر . فهل يعقل ان يكون الحذاء ، قد صنع فى قالب تصل دقته الى ٠,٠١ سم — ثخانة الشعرة ؟

ولكن هذا ما يحدث فى الواقع بلا شك . اذ يصعب انتعال الحذاء بعد الاستحمام . وليس السبب هو التمدد الحرارى ، بل هناك عدة اسباب ، هى تدفق الدم وانتفاخ الجلد الخارجى ورطوبة سطح الجلد ، وغيرها من الاسباب ، التى ليست لها اية علاقة بالتمدد الحرارى .

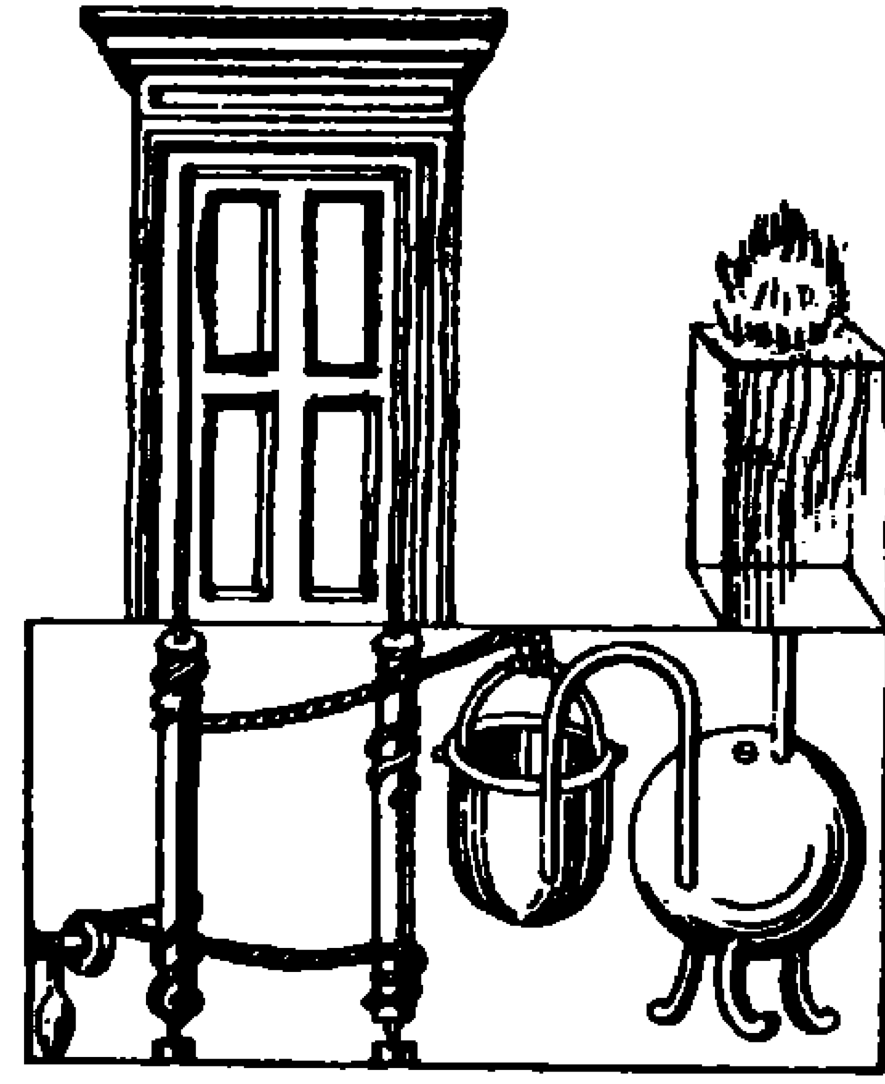
كيف صنعت المعجزات

ان العالم الميكانيكي والرياضي الاغريقي القديم هيرون الاسكندري ، مخترع النافورة المسماة باسمه ، ترك لنا وصفا لطريقتين حاذقتين ، استطاع بواسطتهما الكهنة المصريّون ، ان يخدعوا الشعب ويجعلونه يؤمن بالمعجزات . ويظهر في الشكل ٧٤ ، محراب (مذبح) معدني مجوف ، وقد اخفيت تحته في باطن الارض ، آلية تحرك ابواب المعبد . وقد اقيم المحراب امام المعبد . وعندما تشعل النار ، يسخن الهواء الموجود داخل المحراب ، حيث يضغط بقوة على الماء الموجود في اناء مخفي تحت الارض . فيندفع الماء من الاناء الى الانبوبة ، ومنها ينسكب في السطل ، الذي يهبط ، ويدير بهبوطه ، الآلية التي تحرك الابواب (شكل ٧٥) .

اما الجمهور المشدوه ، الذي لا يعلم ايّ شيء عن الآلية المخفية تحت الارض ، فيؤمن بالمعجزة التي تحدث امامه : حالما تبدأ النار بالاشتعال فوق المحراب ، فان ابواب المعبد تفتح على مصاريعها من تلقاء نفسها « بفضل دعاء الكاهن » .



شكل ٧٤ : فضح « معجزة » الكهنة المصريين القدماء : ان ابواب المعبد تفتح بتأثير نار المذبح .



شكل ٧٥ : رسم تخطيطي يبين تركيب ابواب المعبد ، التي تنفتح ذاتيا ، عندما تشعل النار فوق المذبح (انظر الشكل ٧٤) .

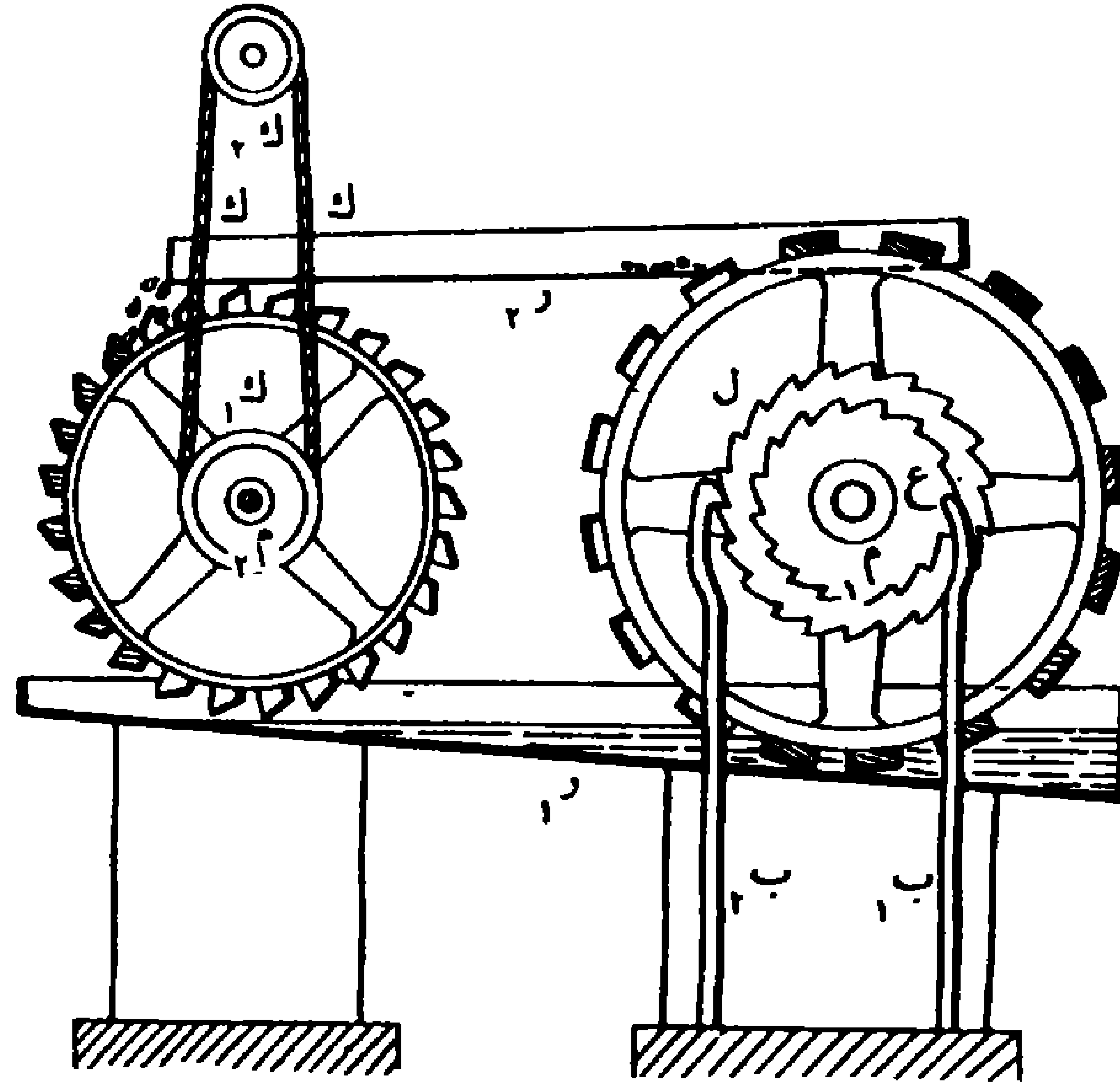


شكل ٧٦ : معجزة اخرى مزعومة من معجزات الكهنة القدماء : ان الزيت ينصب ذاتيا في نار المذبح .

ويبيّن الشكل ٧٦ ، معجزة اخرى مزعومة ، يقوم بها الكهنة . عندما تبدأ النار بالاشتعال فوق المحراب ، يتمدد الهواء ويضغط على الزيت الموجود في الخزان السفلي ، فيدفعه الى انابيب مخفية في جبّة الكاهن . عندئذ تحدث المعجزة ، وينسكب الزيت من نفسه ، في النار . . واذا اريد ايقاف تدفق الزيت ، يقوم الكاهن المسئول عن ادارة ذلك المحراب ، برفع السدّادة عن غطاء الخزان بصورة سريّة (يتوقف تدفق الزيت لان الهواء الفائض يخرج من خلال الفتحة) ، وكان الكهنة يلجأون الى هذه الخدعة ، كلما شحّت هدايا المصلّين .

ساعة لا تحتاج الى تدوير

لقد وضحنا سابقا (صفحة ١٢٦) ساعة تعمل بلا تدوير — او بالاحرى بلا تدوير خاص — وكانت مصممة للعمل على اساس تغيّرات الضغط الجوى



شكل ٧٧ : ساعة ذاتية الملء .

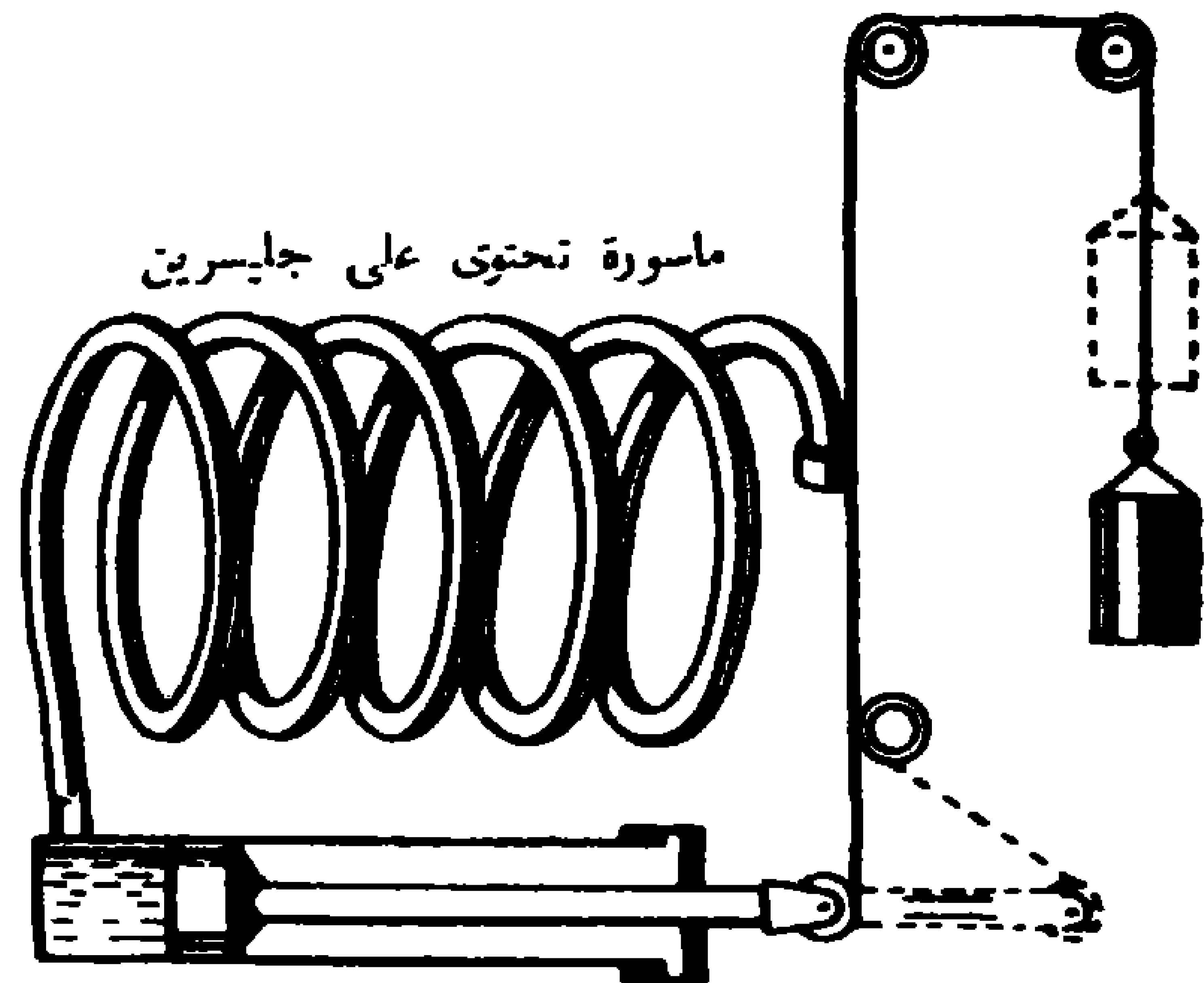
والآن نقدم وصفا لساعة مماثلة ، ذاتية الملء ، مصممة للعمل على اساس التمدد الحرارى . ان آلية هذه الساعة مبينة فى الشكل ٧٧ . ويتكون قسمها الرئيسى من القضيبين ب$_1$ و ب$_2$ ، المصنوعين من سبيكة معدنية خاصة ، لها معامل تمدد كبير . والقضيب ب$_1$ مثبت فى اسنان العجلة ع ، بحيث تدور العجلة المسننة قليلا ، عندما يتمدد ذلك القضيب بتأثير الحرارة . اما القضيب ب$_2$ ، فهو معشق باسنان العجلة ل . وعندما يتقلص بتأثير البرد ، يدير العجلة بنفس الاتجاه . وقد ركزت كلتا العجلتين ، على العمود م$_1$ ، الذى يعمل بدورانه على ادارة العجلة الكبيرة ذات المغارف . وتجرف المغارف الزئبق المصبوب فى المجرى السفلى ، وتحوله الى المجرى العلوى ، ومنه ينسكب على العجلة اليسرى التى تحتوى على مغارف ايضا . وبامتلاء المغارف بالزئبق ، تبدأ العجلة بالدوران ، وبذلك تتحرك السلسلة ك ك ، الملفوفة حول العجلة ك$_1$ (المرتكزة

على عمود مشترك $م_٢$ ، مع العجلة الكبيرة) ، وتقوم العجلة الاخيرة $ك_٢$ ببرم نابض تشغيل الساعة .

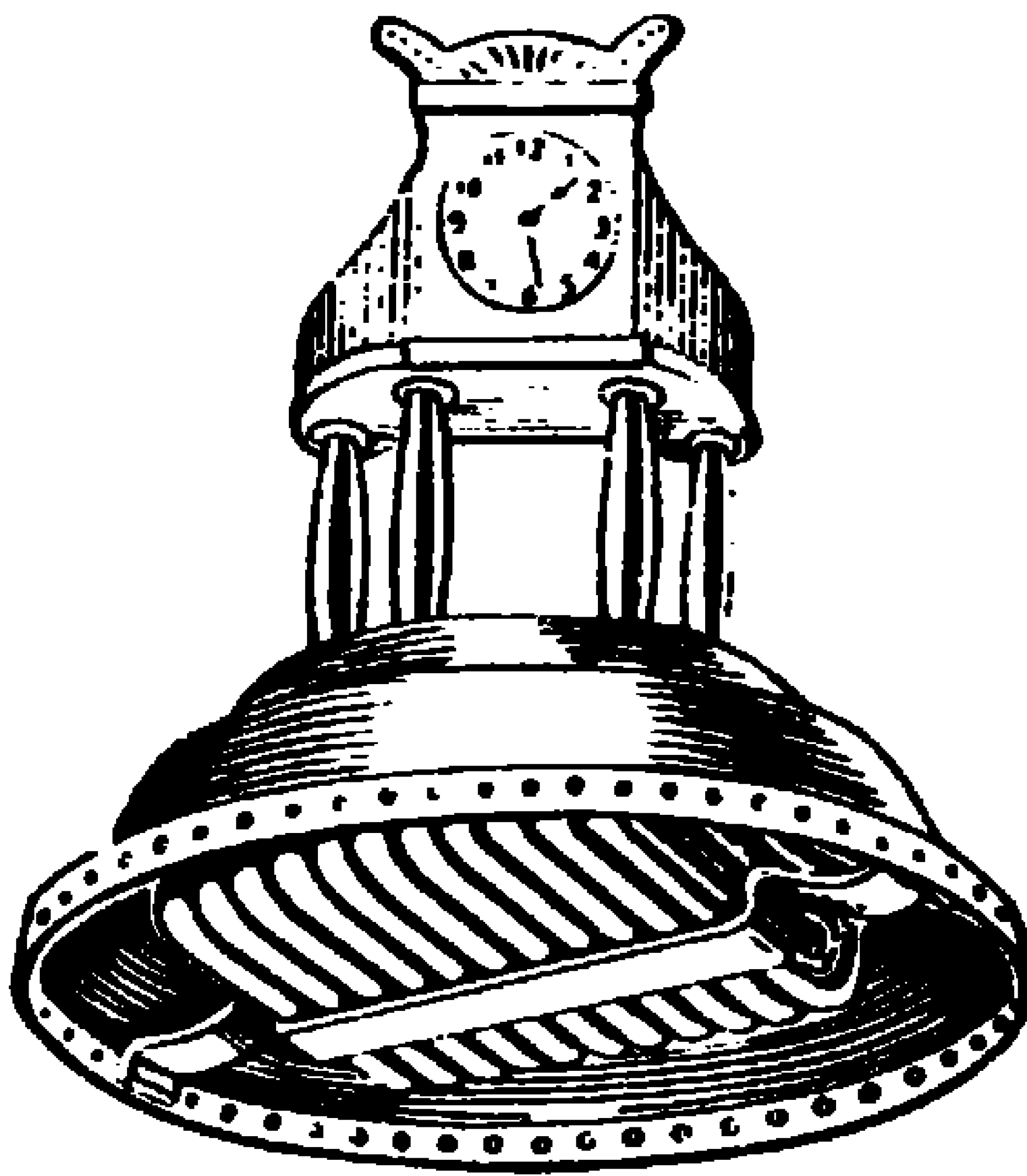
ماذا يحدث اذن للزئبق ، المنسكب من مغارف العجلة اليسرى ؟ انه يسيل خلال المجرى المائل $ر_١$ ، ويذهب مرة اخرى الى العجلة اليمنى ، ليبدأ من هناك حركته الانتقالية من جديد .

ان الآلية كما نرى ، يجب ان تتحرك بلا توقف ، ما زال القضيبان $ب_١$ و$ب_٢$ مستمرين فى تمددهما وتقلصهما . وبالتالى ، فلتشغيل الساعة ، يجب فقط ان تكون درجة حرارة الجو فى حالة تغيّر ، اما ان ترتفع او تنخفض .

ولكن هذا الشيء بالذات ، يحدث تلقائيا دون ان نهتم بامره : ان كل تغيّر فى درجة حرارة الهواء المحيط ، يؤدى الى تمدد او تقلص القضيبين ، ونتيجة لذلك ، يبرم نابض الساعة ببطء ، ولكن بصورة مستمرة .



شكل ٧٨ : رسم تخطيطى لساعة ذاتية الملء من نوع آخر



شكل ٧٩ : ساعة ذاتية الملء : ان ماسورة الجليسرين مخفية تحت قاعدة الساعة .

هل يمكن تسمية هذه الساعة ، بمحرك « دائم الحركة » ؟ طبعا ، لا يمكن ذلك . ان الساعة ستشتغل لمدة طويلة غير محدودة ، الى ان تبلى آليتها . ولكن مصدر طاقتها هو حرارة الهواء المحيط ، وتخزن هذه الساعة ، الشغل الناتج عن التمدد الحرارى ، على دفعات صغيرة ، لكى تصرفه باستمرار على حركة عقاربها . وهذا هو محرك « الطاقة الممنوحة » ، وذلك لانه لا يتطلب اية عناية او مصاريف لاستمراره فى العمل . ولكنه لا يولّد طاقة من العدم ، اذ ان المصدر الاول لطاقته هو حرارة الشمس التى تسخّن الارض .

ويوضح الشكلان ٧٨ و ٧٩ ، نموذجا آخر للساعة الذاتية الملء ، مشابها للنموذج السابق ، من حيث التركيب . وفى هذا النموذج ، يكون القسم الرئيسى هو الجليسرين ، الذى يتمدد بارتفاع درجة حرارة الهواء ، ويرفع عند ذلك ثقلا معينا . وعندما يهبط الثقل ، يحرك بدوره آلية الساعة . وبما ان الجليسرين لا يتجمد الا عندما تنخفض درجة الحرارة الى ـ ٣٠° مئوية ، ولا يغلى الا عندما تصل درجة الحرارة الى ٢٩٠° مئوية ، اذن تكون هذه الآلية ملائمة للساعات ، التى تعلق فى الميادين العامة بالمدن وفى بقية المحلات المكشوفة . ان تغيّر درجة الحرارة بمقدار ٢° مئوية ، يكفى لتحريك مثل هذه الساعات .

ولقد تم اختبار نموذج منها ، خلال عام كامل ، واثبت قدرته على العمل ، مع العلم بانه لم يقترب احد من الآلية طوال ذلك العام باكمله .

هل يكون من الملائم صنع محركات اضخم ، بناء على نفس المبدأ السابق ؟ يبدو للوهلة الاولى ، ان محرك « الطاقة الممنوحة » هذا ، وما شابهه ، يجب ان يكون اقتصاديا للغاية . ولكن الحساب يعطينا نتيجة تختلف عن ذلك تماما . لتشغيل ساعة عادية لمدة يوم كامل ، نحتاج الى طاقة تقدر بـ $\frac{١}{٧}$ كجم تقريبا . وهذا يعنى اننا نحتاج فى الثانية الواحدة الى $\frac{١}{٦٠٠٠٠٠}$ كجم تقريبا ، وبما ان القدرة الحصانية تساوى ٧٥ كجم.م فى الثانية ، فان قدرة الآلية الواحدة للساعة ، تبلغ $\frac{١}{٤٥٠٠٠٠٠٠}$ من

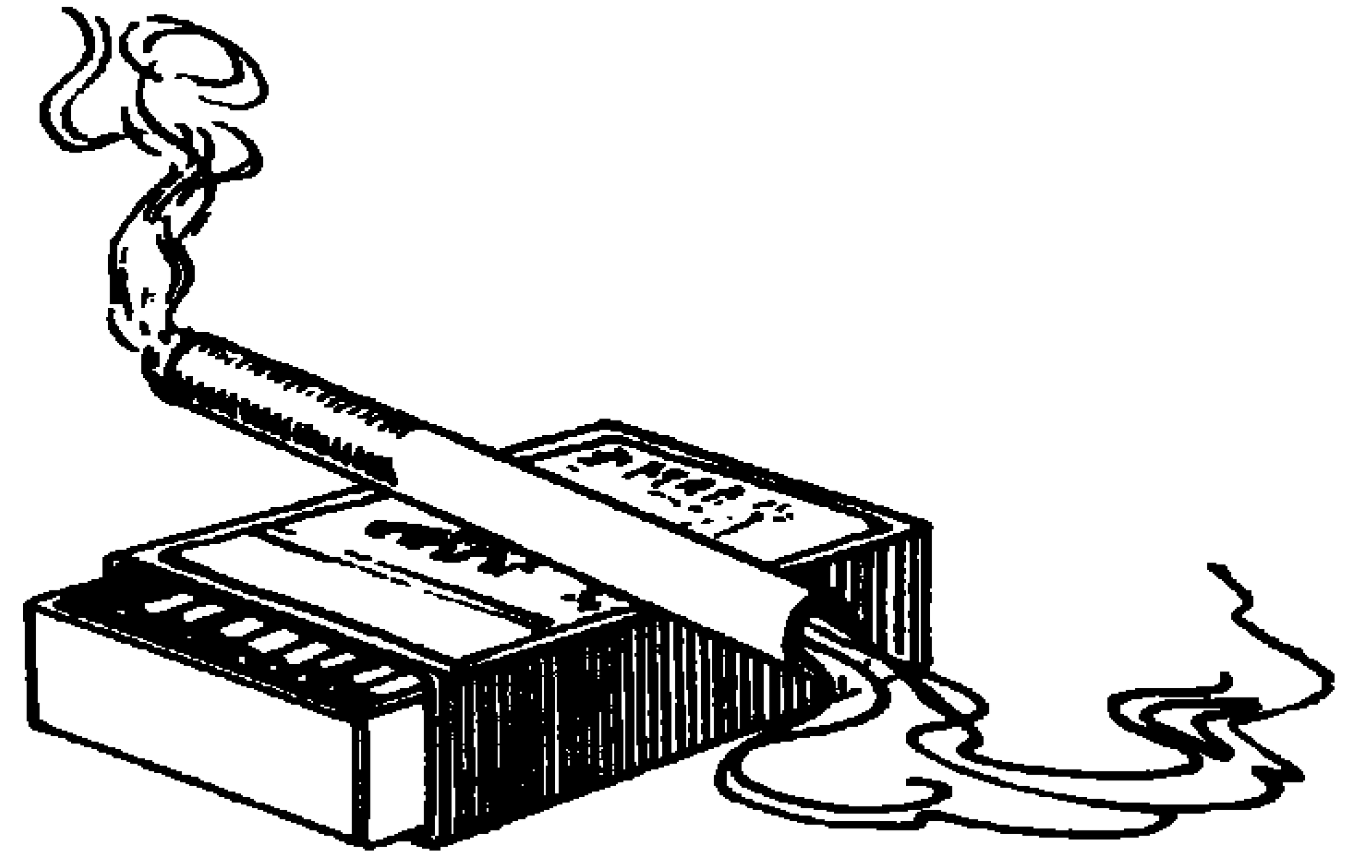
القدرة الحصانية فقط . وهذا يعني انه اذا قدّرنا قيمة القضبان المتمددة للساعة الاولى ، او اجهزة الساعة الثانية ، ولو بقرش واحد ، فان التكاليف الكلية للقدرة الحصانية الواحدة لمثل هذا المحرك ، تبلغ :

$$١ \times \frac{٤٥٠٠٠٠٠٠}{١٠٠} = ٤٥٠٠٠٠ \text{ جنيه}$$

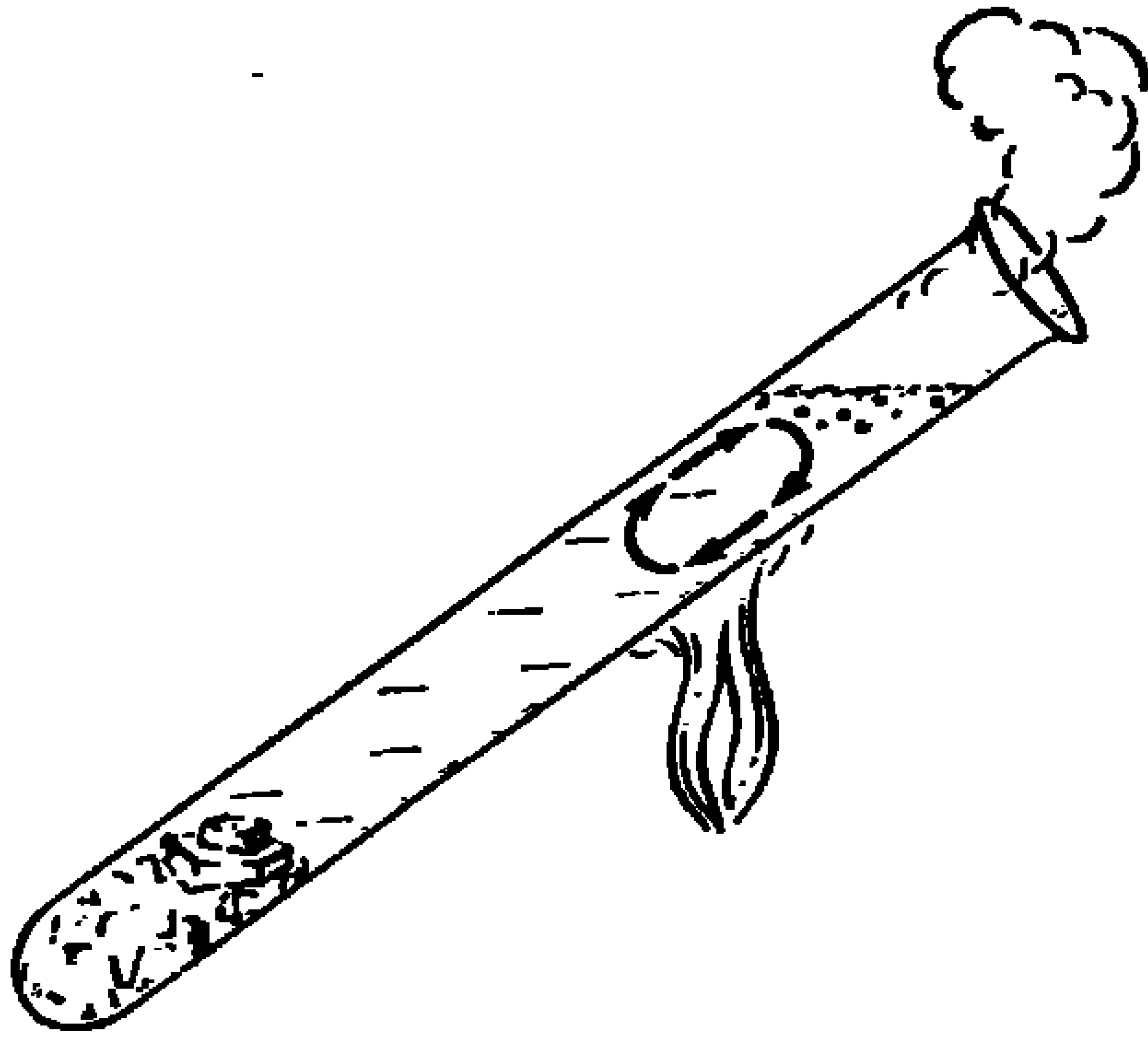
اى ما يقارب النصف مليون جنيه لكل قدرة حصانية واحدة ، وهو مبلغ كبير بالنسبة لمحرك « الطاقة الممنوحة » . . .

السيجارة المستخدمة لاغراض التعليم

وضعت سيجارة على علبة ثقاب (شكل ٨٠) ، وكانت تدخن من كلا طرفيها . ولكن الدخان الخارج من مبسم السيجارة ، يهبط الى الاسفل ، بينما يتلوى صاعدا الى الاعلى من الطرف الثاني . ما هو السبب ؟ اليس نفس الدخان بالذات هو الذى يخرج من كلا الطرفين ؟!



شكل ٨٠ : لماذا يصعد الدخان من احد طرفى السيجارة الى الاعلى ، ويهبط الى الاسفل من الطرف الثاني ؟



شكل ٨١ : ان الماء الموجود فى القسم العلوى من الانبوبة يبدأ بالغليان بينما لا يذوب الجليد الموجود فى الاسفل .

نعم ، ان الدخان هو نفس الدخان ، ولكن يوجد فوق طرف السيجارة المحترق ، تيار صاعد من الهواء الدافئ ، الذى يرفع معه دقائق الدخان . اما الهواء الذى يعبر مع الدخان خلال مبسم السيجارة ، فيجد متسعا من الوقت ليبرد ، ولا يرتفع الى الاعلى . وبما ان دقائق الدخان تكون بالذات اثقل من الهواء ، لذا فانها تهبط الى الاسفل .

الجليد الذى لا يذوب فى الماء المغلى

نأخذ انبوبة اختبار ونملؤها بالماء ، ثم نغمر فيها قطعة من الجليد ، ولكى لا تطفو القطعة فوق الماء (الجليد اخف من الماء) ، نثقلها بقطعة من الرصاص او النحاس وغير ذلك . ولكن يجب عند ذلك ان يصل الماء الى قطعة الجليد بحرية . والآن نقرب انبوبة الاختبار من مصباح كحولى ، بحيث يلامس لهبه القسم العلوى لانبوبة الاختبار فقط (شكل ٨١) .

يبدأ الماء بالغليان فى الحال ، وتخرج من الانبوبة سحب من البخار . ونلاحظ هنا شيئا غريبا ، هو عدم ذوبان الجليد الموجود فى اسفل الانبوبة . اليس ذلك اعجوبة صغيرة ؟ جليد لا يذوب فى الماء المغلى !

ان حل اللغز يتلخص فى ان الماء الموجود فى اسفل الانبوبة لا يغلى مطلقا ، بل يبقى باردا ، ويغلى الماء الموجود فى اعلى الانبوبة فقط .

ان ما لدينا هنا : هو « جليد تحت الماء المغلى » وليس « جليد فى الماء المغلى » . وعندما يتمدد الماء بتأثير الحرارة ، يصبح خفيفا ولا يهبط الى الاسفل ، بل يبقى فى اعلى الانبوبة . كما ان تيارات الماء الحار وانزياح طبقاته ، تحدث فى القسم العلوى من الانبوبة فقط ، ولا تمتد الى الطبقات السفلى ، الاكثر كثافة . ويمكن انتقال الحرارة الى الاسفل عن طريق الموصلية الحرارية فقط ، ولكن الموصلية الحرارية للماء قليلة للغاية .

فوق الجليد ام تحته ؟

اذا اردنا تسخين الماء ، فاننا نضع اناء الماء فوق اللهب ، وليس الى جانبه . ونفعل ذلك بصورة صحيحة تماما ، لان الهواء المسخّن باللهب يصبح اخف مما هو عليه ، فيتحرك من كافة الجهات متجها الى الاعلى للاحاطة باناء الماء .

اذن ، بوضع الجسم المراد تسخينه فوق اللهب ، نكون قد استفدنا من حرارة المصدر على احسن وجه .

ولكن كيف نتصرف ، اذا اردنا ان نفعل العكس ، ونبرد جسم ما بواسطة الجليد ؟ اعتاد كثير من الناس على وضع الجسم فوق الجليد — مثلا ، يضعون اناء الحليب على سطح الجليد . وليس فى ذلك ما يلائم الغرض . اذ ان الهواء الموجود فوق الثلج يبرد ويهبط الى الاسفل ، ليحل محله الهواء الدافئ المحيط به . ونتوصل من ذلك الى النتيجة العملية التالية : اذا اردنا تبريد الشراب او الطعام ، فعلينا ان نضعه تحت الجليد لا فوقه .

لنشرح ذلك بالتفصيل . اذا وضعنا اناء الماء على الجليد ، فستبرد الطبقة السفلى للسائل فقط ، اما بقية طبقات السائل فستحاط بالهواء الدافىء . فمثلا ، اذا وضعنا قطعة من الجليد على سطح غطاء الاناء ، فان السائل الموجود فى داخله سيبرد بصورة اسرع . وسوف تهبط طبقات السائل المبردة الى الاسفل لتحل محلها طبقات السائل الدافئة القادمة من الاعلى ، الى ان يبرد كل السائل الموجود فى الاناء (ان الماء النقى لا يبرد عند ذلك الى درجة الصفر المئوى ، بل الى ٤° مئوية فقط ، حيث تصل كثافته الى اقصى حد . وليس هناك فى الحقيقة ، من يبرد الشراب الى درجة الصفر) . ومن ناحية اخرى ، فان الهواء المبرد المحيط بالجليد ، سيهبط ايضا الى الاسفل ليحيط بالاناء .

تيار هواء من نافذة مقفلة

كثيرا ما تهب تيارات الهواء من نافذة مقفلة باحكام ، وخالية من اية شقوق . الا يبدو ان هذا الامر غريب ؟ ولكن بهذه المناسبة ، ليس هناك ما يدعو الى الاستغراب .

ان هواء الغرفة لا يعرف السكون مطلقا ، اذ تحدث فيه تيارات خفية ، ناتجة عن سخونة وبرودة الهواء . فبتأثير الحرارة يتخلخل الهواء ، ويصبح بالتالى اخف مما هو عليه ، ويحدث العكس عندما يبرد الهواء ، اذ تزداد كثافته فيصبح اثقل مما هو عليه . ان الهواء الخفيف ، الذى تمت تدفئته بواسطة اجهزة التدفئة المركزية الموجودة فى الغرف ، او بواسطة المواقد ، يطرد الى الاعلى نحو السقف ، بواسطة الهواء البارد . اما الهواء البارد الثقيل ، الموجود قرب النوافذ والجدران الباردة ، فيندفع الى الاسفل نحو ارض الغرفة .

ويمكن اكتشاف تيارات الهواء فى الغرفة بسهولة ، وذلك بواسطة البالون الهوائى الذى يلهو به الاطفال ، حيث يعلق فيه ثقل بسيط ليمنعه من الالتصاق بالسقف ويجعله يحوم فى جو الغرفة بحرية . واذا طيرنا هذا البالون بالقرب من الموقد الدافئ ، سنرى انه يحوم فى جو الغرفة متأثرا بتيارات الهواء الخفية : ينطلق من ناحية الموقد تحت السقف ، الى النافذة ، ومنها يهبط الى ارض الغرفة ، ثم يعود الى الموقد لكى يستأنف تحليقه فى جو الغرفة .

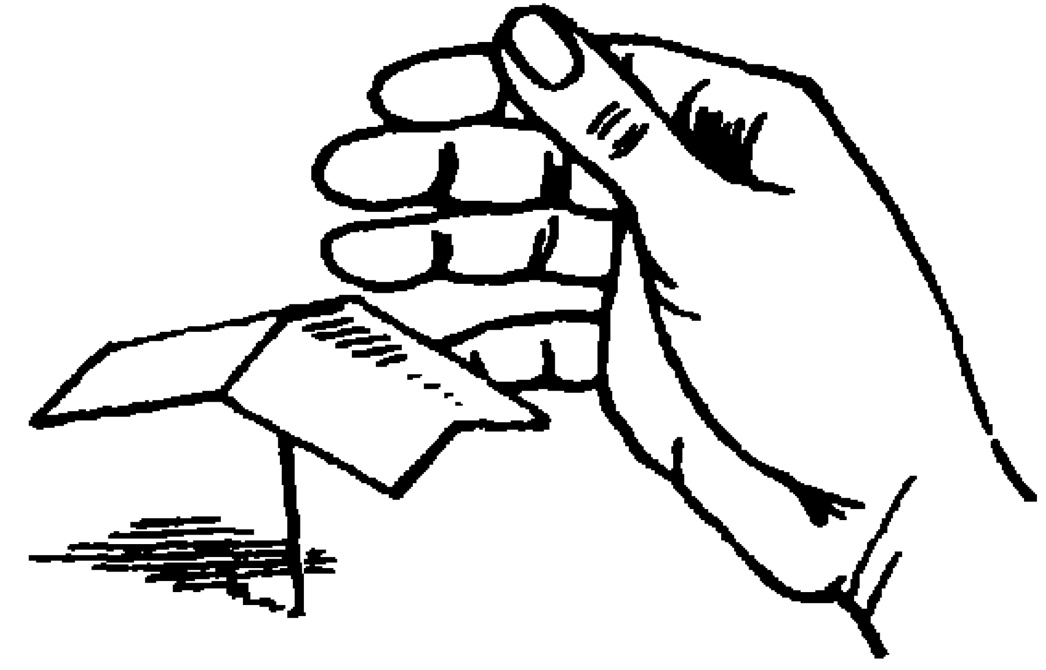
ولهذا نشعر فى الشتاء بتيارات الهواء الآتية من النافذة ، وخاصة عند اقدامنا ، بالرغم من اقفال النافذة باحكام ، الامر الذى لا يدع مجالا لمرور الهواء الخارجى من الشقوق .

الدوامة الورقية الغامضة

نأخذ ورقة سجائر رقيقة ، ونقص منها قطعة على شكل مستطيل . نطوى المستطيل مرتين من منتصفه ، ثم نعيده الى وضعه السابق ؛ فنكون بذلك قد عينا مركز ثقله . نضع المستطيل فوق ابرة حادة ، بحيث يقع رأس الابرة فى مركز الثقل تماما .

وتصبح الورقة المستطيلة فى حالة توازن ، لأنها مسندة من مركز ثقلها . ولكنها تأخذ فى الدوارن ، عند تعرضها لابسط نفخة هادئة .

لم نجد لحد الآن ، اى غموض فى المسألة ! لنقرب يدنا من الورقة ، كما هو مبين فى الشكل ٨٢ ؛ وليكن ذلك بحذر ، لئلا يؤدى تيار الهواء الى ازاحة الورقة عن مكانها . وعندئذ سنلاحظ امرا عجيبا : تبدأ الورقة بالدوران ، ويكون دورانها بطيئا فى بادئ الامر ، ثم تزداد سرعتها بالتدريج. واذا ابعدنا اليد عن الورقة، فاننا نرى بان الدوران يتوقف ، اما اذا قربناها مرة اخرى ، فسوف تبدأ الورقة بالدوران من جديد .



شكل ٨٢ : لماذا تدور الورقة ؟

ان هذا الدوران الغامض ، جعل الناس فى احد الاوقات — فى سبعينيات القرن الماضى — يفكرون بان لجسم الانسان ، بعض الخواص الخارقة الطبيعة . وقد وجد العلماء الروحانيون فى هذه التجربة ، تأكيدا لتعاليمهم المبهمة حول القوة الخفية الصادرة عن جسم الانسان . بينما السبب طبيعى جدا وبسيط ، وهو ان الهواء الساخن الموجود فى اسفل اليد ، يرتفع الى الاعلى ، وعند اصطدامه بالورقة يجعلها تدور . كالحلزون الورقى المعلق فوق المصباح ، وذلك لاننا عندما طوينا الورقة ، اصبحت اقسامها مائلة بعض الشئ .

وقد يلاحظ المراقب الدقيق ، بان الدوامة الورقية المذكورة تدور فى اتجاه معين — ابتداء من رسغ اليد وبمحاذاة الكف ، نحو الاصابع . ويفسر ذلك باختلاف درجة حرارة اقسام اليد المذكورة ، حيث ان اطراف الاصابع تكون دائما ابرد من الكف . ولذلك يتكون قرب الكف تيار هوائى صاعد اكثر قوة ؛ يصدم الورقة بصورة اقوى مما يصدمها تيار الهواء الناتج عن حرارة الاصابع *.

---

* يمكن كذلك ان نلاحظ ، انه عندما يكون الشخص محموما او بصورة عامة عند ارتفاع درجة حرارته ، تدور الدوامة الورقية بسرعة اكبر كثيرا . ان هذه الدوامة الورقية ، التى ادهشت الكثيرين فى وقت ما ، كانت آنذاك موضوعا لبحث صغير قدمه ن . نيتشايف الى جمعية الطب فى موسكو ، وعنوانه « دوران الاجسام الخفيفة بتأثير حرارة اليد » .

هل يدفىء معطف الفرو ؟

ماذا تكون اجابتكم اذا قيل لكم بان معطف الفرو لا يدفئ مطلقا ؟ لعلكم ستفكرون بان محدثكم يمزح معكم . ولكن ماذا لو بدأ محدثكم باثبات كلامه بعدد من التجارب ؟ لنبدأ مثلا . بالتجربة التالية :

نأخذ محرارا ونسجل درجة الحرارة التي يعطيها ، ثم ندثّره بمعطف الفرو ، ونعود اليه بعد عدة ساعات . وعندما نقرأ درجة الحرارة بعد ذلك ، سنكون على يقين من عدم ارتفاعها ولو بمقدار ربع درجة ، اذ ستبقى درجة الحرارة على ما كانت عليه سابقا دون تغيير . وهذا دليل على ان معطف الفرو لا يدفّئ . وكان الشك سيساوركم ، لو قيل لكم بان معطف الفرو يبرّد ! نأخذ كيسين فيهما جليد ، وندثر احدهما بمعطف فرو ، ونترك الآخر مفتوحا في الغرفة . وعندما يذوب الجليد الموجود في الكيس الثاني ، نرفع معطف الفرو عن الكيس الاول . فنرى ان الجليد الذي في داخله لم يبدأ بالذوبان بعد . وهذا يعني ان معطف الفرو لم يدفئ الجليد قط ، بل حتى كما يظهر ، عمل على تبريده فجعله يتأخر في الذوبان . ماذا يمكننا القول هنا ؟ وكيف ندحض هذه البراهين ؟

اننا لا نستطيع ان نفعل ذلك ، لان معطف الفرو لا يدفئ في الواقع ، اذا قصدنا بكلمة « يدفئ » — يعطي حرارة .

ان المصباح والموقد وجسم الانسان . كلّها تدفّئ ، لانها تعتبر مصادر للحرارة . ولكن معطف الفرو ، بالمعنى المذكور للكلمة ، لا يدفئ مطلقا . فمعطف الفرو لا يعطي حرارته للجسم ، ولكنه يحول دون تسرب حرارة الجسم الى الخارج . ولهذا السبب ، فان الحيوانات ذات الدم الحار ، التي تكون اجسامها بالذات مصدرا للحرارة . تشعر بالدفء عندما تغطى بالفرو ، اكثر مما تشعر به ، عندما تكون بدون فرو . ولكن المحرار لا يولد حرارة ذاتية ، ولا تتغير درجة حرارته ، عندما ندثّره بمعطف الفرو . اما الجليد المدثر بمعطف الفرو ، فيحافظ على درجة حرارته المنخفضة لمدة

اطول ، وذلك لان معطف الفرو – موصل رديء جدا للحرارة – يعرقل وصول الحرارة الى الجليد من الخارج ، اى من هواء الغرفة .

والثلج يشبه معطف الفرو من هذه الناحية ، فهو يدفيء الارض ، لانه كبقية المساحيق الاخرى ، موصل رديء للحرارة ، وبذلك يعرقل تسرب الحرارة من الارض المغطاة به . وفى الارض المغطاة بطبقة واقية من الثلج ، يشير المحرار فى كثير من الاحيان ، الى درجة حرارة ، تزيد بعشر درجات على درجة حرارة الارض غير المغطاة بالثلج .

وهكذا ، فاذا سئلنا هل يدفيء معطف الفرو اجسامنا ام لا ، فمن الضرورى الاجابة على ذلك بقولنا : ان معطف الفرو يساعدنا فقط على تدفئة اجسامنا بانفسنا . وكان من الاصح ان نقول بان اجسامنا هى التى تدفيء معطف الفرو ، وليس المعطف هو الذى يدفيء اجسامنا .

فصول السنة فى باطن الارض

اذا كان الفصل على سطح الارض الآن هو الصيف ، فأى فصل يكون الآن تحت سطح الارض ، مثلا على عمق ثلاثة امتار ؟ يخطيء القاريء اذا فكر بان الفصل هناك هو الصيف ايضا ! ان فصول السنة على سطح الارض ، تختلف عما هى عليه فى تربة باطن الارض . ان التربة موصّل رديء جدا للحرارة . وفى مدينة لينينغراد ، لا يتجمد الماء فى مواسير المياه الرئيسية ، الواقعة على عمق مترين ، حتى فى اقسى ايام الشتاء بردا .

ان تغيّرات درجة الحرارة ، التى تحدث على سطح الارض ، تنتقل الى باطنها بصورة بطيئة جدا ، وتصل الى مختلف طبقاتها فى وقت متأخر كثيرا . وقد اثبتت القياسات المباشرة ، مثلا فى مدينة سلوتسك (من ضواحى لينينغراد) ، ان

احر فترة تحلّ خلال السنة ، على عمق ثلاثة امتار ، تتأخر لمدة ٧٦ يوما ، وابرد فترة تتأخر لمدة ١٠٨ ايام . وهذا يعني ، انه اذا فرضنا ان احر يوم على سطح الارض ، هو يوم ٢٥ سبتمبر (ايلول) ، فانه يحلّ على عمق ثلاثة امتار ، بتاريخ ٩ اكتوبر (تشرين الاول) فقط ! واذا فرضنا ان ابرد يوم على سطح الارض ، هو يوم ١٥ يناير (كانون الثاني) ، فانه يحلّ على ذلك العمق المذكور ، في شهر مايو (ايار) ! وبالنسبة لطبقات الارض التي يزيد عمقها على ما ذكرناه ، يكون التأخير اكثر بكثير .

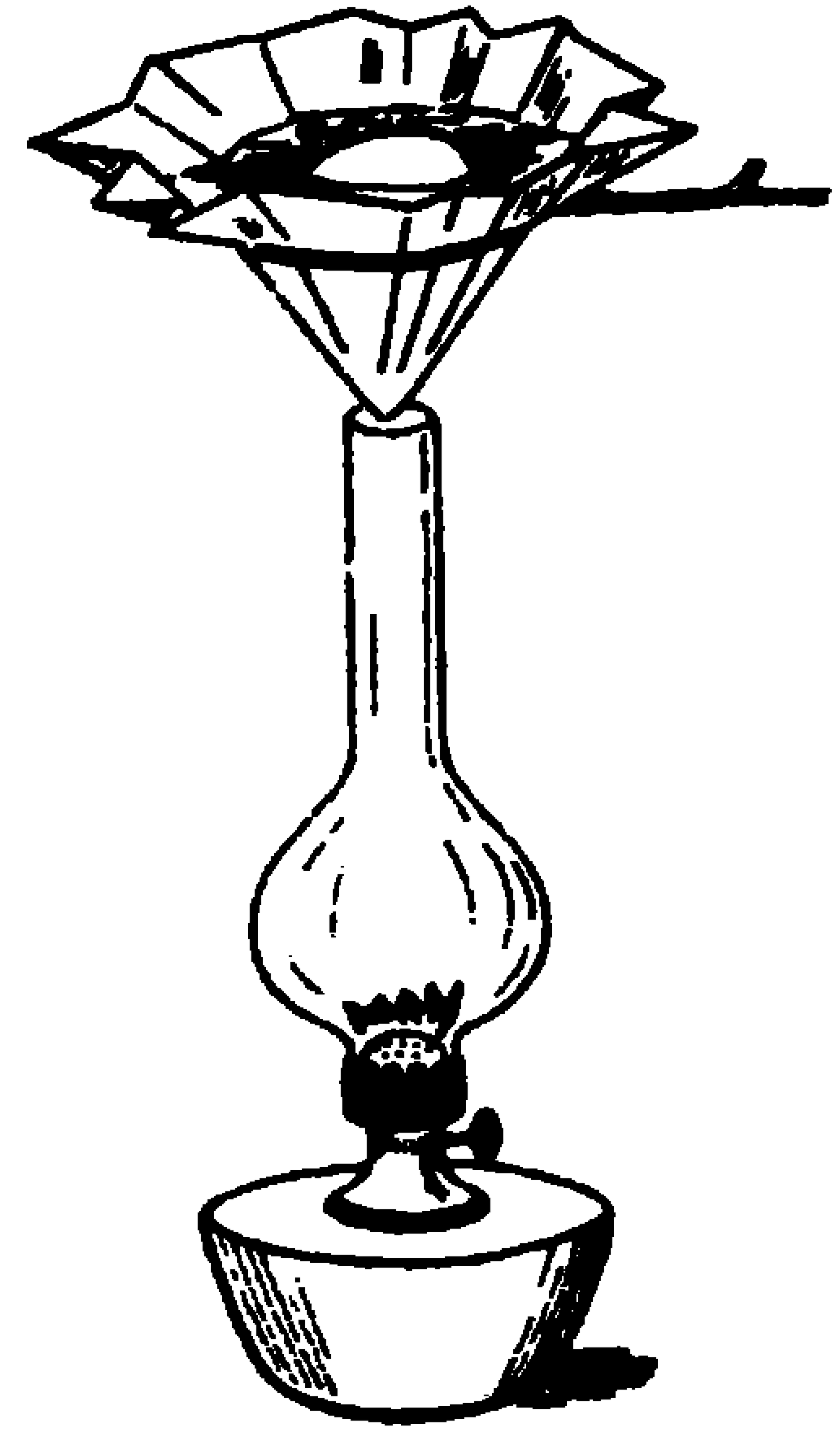
وكلما تعمقنا في التربة ، فان التغيّرات في درجة الحرارة ، لا تتأخر فحسب ، بل تضعف كذلك ، وعلى عمق معيّن تتلاشى تماما : على مدار السنة ، وخلال قرن كامل ، تبقى درجة الحرارة هناك ثابتة على الدوام ، وخصوصا يثبت المتوسط السنوي لدرجة حرارة ذلك المكان .

وفي اقبية مرصد باريس ، على عمق ٢٨ م ، يوجد محرار ، كان قد حفظ هناك منذ ١٥٠ عاما ، من قبل العالم الفرنسي لافوازيه ، وقد حافظ المحرار خلال تلك المدة باكملها ، على درجة حرارة ثابتة هي + ١١,٧ مئوية .

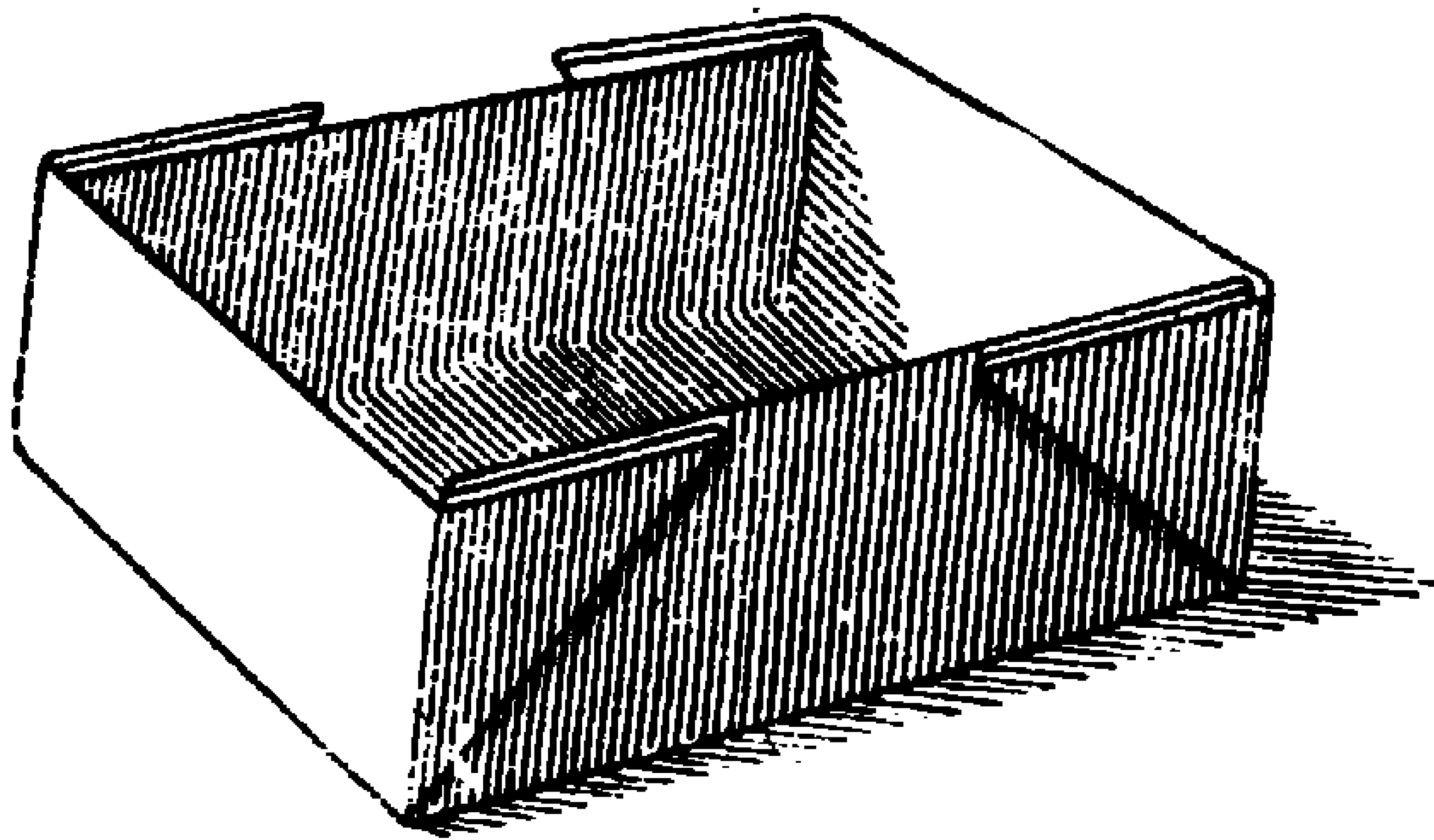
وهكذا ، ففي داخل الارض التي نطأها باقدامنا ، تختلف فصول السنة اختلافا تاما ، عما هي عليه فوق سطح الارض . وعندما يحل الشتاء فوق الارض ، يكون الفصل على عمق ٣ م ، خريفا . وفي الحقيقة ، لا يكون هذا الخريف كما عرفناه سابقا على سطح الارض ، بل يكون اكثر اعتدالا في انخفاض درجة الحرارة . وعندما يحل الصيف فوق سطح الارض ، تصل الى باطنها اصداء ضعيفة لبرد الشتاء . ومن الضروري ان نأخذ هذا الامر بنظر الاعتبار ، كلما تطرقنا في حديثنا الى ظروف حياة الحيوانات التي تعيش في باطن الارض (مثل يرقات الخنافس والصراصر) ، وجذور النباتات . وليس من العجب ، مثلا ، ان خلايا جذور الاشجار ، تتكاثر بصورة خاصة في الشتاء ، وان وظائف (فعاليات) النسيج المسمى بالكمبيوم ، تتجمد خلال فصل الصيف باكمله تقريبا ، على العكس من النسيج الموجود في جذع الشجرة فوق الارض .

قدر من الورق

يبين الشكل ٨٣ ، بيضة تسلق فى ماء موضوع فى قدح من الورق ! الا يعتقد القارئ بان الورقة ستحترق الآن ، وينسكب الماء على المصباح ؟ هيا الآن لنجرب ذلك بانفسنا . نأخذ قطعة سميكة من ورق بارشمان * ونثبتها جيّدا بسلك ، ثم نصب فيها الماء ونضع البيضة فى داخلها . وعند تعريض الورقة لشعلة المصباح ، نرى انها لا تتأثر بذلك مطلقا . ان السبب هو ان الماء يمكن ان يسخن فى اناء مكشوف ؛ الى درجة حرارة لا تزيد على ١٠٠° مئوية ؛ لذا ، فان الماء المسخّن ، الذى له بالاضافة الى ذلك ، سعة حرارية كبيرة ، يمتص الحرارة الفائضة للورقة ، ولا يجعلها تسخن الى درجة حرارة ، تزيد عن ١٠٠° مئوية ، اى الى درجة الحرارة اللازمة لاحتراقها والتهابها . (من الافضل عمليا استخدام صندوق ورقى صغير ، مثل الصندوق المبين فى الشكل ٨٤) . ان الورقة سوف لا تحترق ، حتى عندما تحاط باللهب .



شكل ٨٣ : سلق البيضة فى قدر من الورق .



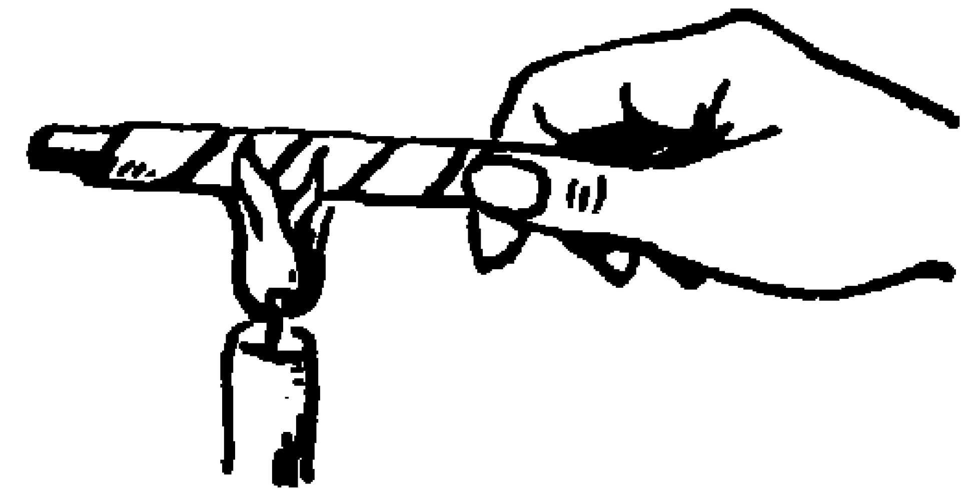
شكل ٨٤ : صندوق صغير من الورق لغلي الماء .

* وهو ورق معالج بحامض الكبريتيك ، ويستعمل لتغليف المأكولات .

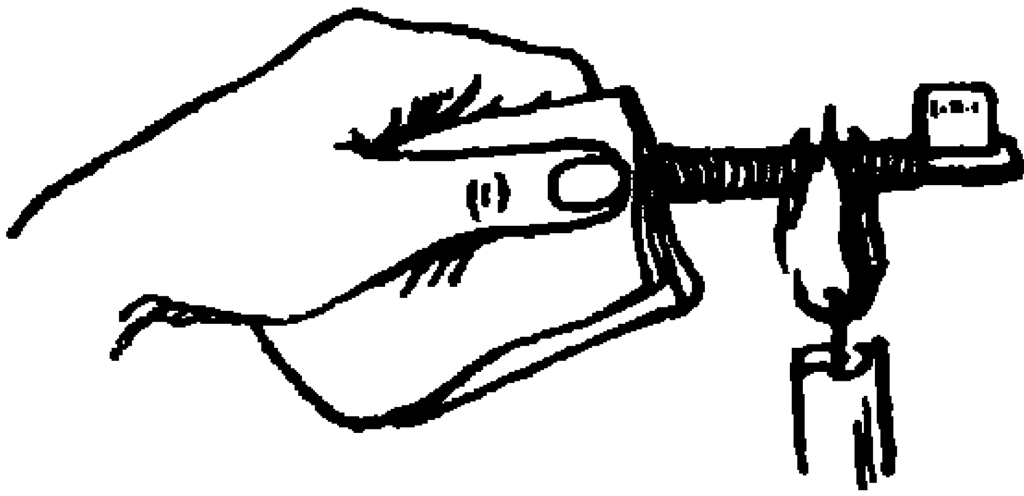
وتنتمى الى نفس النوع من الظواهر ، تلك التجربة المؤسفة التى يمر بها بعض الناس الذين تشرد افكارهم ، فيوقدون النار فى السماوار صدفة ، عندما يكون خاليا من الماء ، فينفك بذلك لحامه وينهار . والسبب هنا معروف ، وهو ان سبيكة اللحام سهلة الانصهار ، والتصاقها المحكم بالماء ، هو الامر الوحيد الذى يقيها من خطر ارتفاع درجة الحرارة . ويمنع كذلك تسخين القدور الملحومة ، اذا كانت خالية من الماء . وقد عمل تسخن الماء على حماية سبطانة رشاش «مكسيم» القديم ، من الانصهار .

ويمكننا كذلك ان نصهر ختما رصاصيا ، فى صندوق مصنوع من ورق اللعب ، وذلك بتسليط اللهب بصورة خاصة على موضع الورقة ، الذى يتصل مباشرة بالختم الرصاصى : ان الرصاص بصفته موصلا جيدا للحرارة نوعا ما ، يأخذ الحرارة من الورقة بسرعة ، ولا يجعلها تسخن الى درجة حرارة تزيد عن درجة حرارة الانصهار بشكل ملحوظ ، اى الى درجة ٣٣٥° مئوية (للرصاص) ؛ وهذه الدرجة من الحرارة ليست كافية لكى تجعل الورقة تلتهب .

ويمكن كذلك اجراء التجربة التالية (شكل ٨٥) : نأخذ مسمارا غليظا ، او قضيبا رفيعا من الحديد (والافضل ان يكون من النحاس) ، ونلف حوله باحكام ، شريطا رفيعا من الورق على شكل لولب . ثم نقرب القضيب مع شريط الورق ، من لهب النار . سيحيط اللهب بالورقة ويسخنها ، ولكنها لن تحترق الى ان يصبح القضيب حاميا . ان السّر هنا ، يكمن فى موصلّية المعدن الجيدة ، اذ لا يمكننا



شكل ٨٥ : الورقة التى لا تشتعل .



شكل ٨٦ : الخيط الذى لا يشتعل .

اجراء هذه التجربة بقضيب من الزجاج . ويبيّن الشكل ٨٦ ، تجربة مماثلة ، لخيط لا يحترق وهو ملفوف باحكام على احد المفاتيح .

لماذا يكون الجليد زلقا ؟

ان الانزلاق على ارضية الغرفة المصقولة ، اسهل من الانزلاق على الارضية العادية . ويظهر وكأن نفس الشيء يحدث بالنسبة للجليد ، اى يكون الانزلاق على الجليد الاملس ، اسهل مما هو عليه بالنسبة للجليد الوعر المغطى بالنتوءات .

ويعلم سكان المناطق الشمالية ان جر الزلاقات الصغيرة المحملة بالامتعة ، فوق سطح الجليد الوعر ، اسهل بكثير من جرها فوق سطح الجليد الاملس . ان الجليد الوعر اكثر زلقا من الجليد الاملس اللماع . وهذا يفسّر بان زلق الجليد لا يعتمد بالدرجة الاولى على النعومة ، ولكن على شيء خاص جدا ، هو ان درجة حرارة انصهار الجليد ، تنخفض عند زيادة الضغط .

ماذا يحدث عندما نتزلج على الجليد بالزلاقة او بالمزلج ؟ عند وقوفنا على الجليد بالمزلج ، تكون مساحة ارتكازنا صغيرة جدا ، لا تزيد على عدة مليمترات مربعة . ونضغط على هذه المساحة الصغيرة بثقل جسمنا كله . واذا تذكرنا ما قلناه عن الضغط (فى الفصل الثانى من الكتاب) ، لعلمنا ان الشخص المتزلج يضغط على الجليد بقوة كبيرة . وتحت تأثير الضغط الكبير ، يذوب الجليد عند درجة حرارة منخفضة . مثلا ، اذا كانت درجة حرارة الجليد ــ ٥° مئوية ، وعمل ضغط المزلج على خفض نقطة انصهار الجليد الذى يرتكز عليه المزلج ، باكثر من ٥° مئوية ، فان اقسام الجليد هذه سوف تذوب . فماذا يحدث اذن ؟ تتكون بين مزالق المزلج والجليد طبقة رقيقة من الماء ، تجعل المتزلّج ينزلق بسهولة . وحالما ينقل قدميه الى موضع آخر ، يحدث هناك نفس الشيء ايضا . وفى كل المواضع ، يتحول الجليد تحت اقدام المتزلج ، الى طبقة رقيقة من الماء . وبهذه الخواص ، يتميّز الجليد عن كافة الاجسام

الاخرى فى الطبيعة . وقد اطلق احد الفيزيائيين السوفييت على الجليد اسم « الجسم الزلق الوحيد فى الطبيعة » . اما بقية الاجسام ، فهى ملساء وليست زلقة .

ويمكننا الآن ان نعود الى سؤالنا : ايهما اكثر زلقا ، الجليد الاملس ام الجليد الوعر ؟ نحن نعلم ان الثقل الواحد ، يضغط بقوة اكبر ، كلما قلت المساحة التى يرتكز عليها . ففى اية حالة اذن ، يضغط الشخص بقوة اكبر ، على المساحة التى يقف عليها : هل عند وقوفه على الجليد الاملس اللماع ام على الجليد الوعر ؟ من الواضح ان الشخص يضغط بقوة اكبر عند وقوفه على الجليد الوعر ، لانه فى هذه الحالة يكون مرتكزا على بعض نتؤات وتحدبات سطح الجليد الوعر . وكلما زاد الضغط على الجليد ، زاد معه الانصهار ، وبالتالى يصبح الجليد اكثر زلقا (اذا كانت المزلقة عريضة الى حد كاف . اما بالنسبة للمزلقة الضيقة ، المنغرزة فى النتوات ، فلا ينطبق عليها ذلك ـ لان طاقة الحركة ، تصرف هنا فى عملية قصّ النتوات) .

ان انخفاض نقطة انصهار الجليد ، تحت تأثير الضغط الكبير ، يفسر كذلك عدة ظواهر اخرى فى الحياة اليومية . وبفضل هذه الخاصية ، تتجمد قطع الجليد المنفصلة ، مع بعضها البعض ، اذا ضغطت بقوة . ان الصبى الصغير عندما يلهو بقذف كرات الثلج ، فانه بدون وعى ، يستخدم هذه الخاصية حينما يضغط بيديه ندف الثلج ، التى تتجمد بتأثير الضغط القوى ، المؤدى الى انخفاض درجة حرارة انصهارها . ان الاطفال فى المناطق الشمالية من الكرة الارضية ، عندما يكومون كتل الثلج ليصنعوا منها دمية على هيئة امرأة ، فانهم بذلك يستخدمون ايضا تلك الخاصية المذكورة للجليد : ان ندف الثلج ، فى اماكن تلاصقها ، فى القسم السفلى للكتلة الثلجية ، تتجمد تحت وطأة الكتل التى تضغط عليها من الاعلى . ان الثلج على الارصفة يتكثف ويتحول تدريجيا الى جليد ، وذلك تحت ضغط اقدام العابرين ، اذ تتجمد كتل الثلج وتتحول الى طبقة جليدية صلبة .

وقد اثبت الحساب النظرى ، انه لكى نخفض نقطة انصهار ذوبان الجليد بمقدار درجة واحدة فقط ، فاننا نحتاج الى ضغط كبير جدا ، يقدر بـ ١٣٠ كجم/سم٢ .

وهنا يجب الأخذ في الاعتبار ، ان كلاً من الماء والجليد ، يقعان عند الانصهار تحت ضغط واحد . وفي الامثلة المذكورة هنا ، يتعرض الجليد وحده لضغط قوى . اما الماء الناتج عن الانصهار ، فيقع تحت تأثير الضغط الجوى ، وفى هذه الحالة ، يصبح تأثير الضغط على درجة حرارة انصهار الجليد ، اكبر بكثير .

مسألة حول الحبال الجليدية

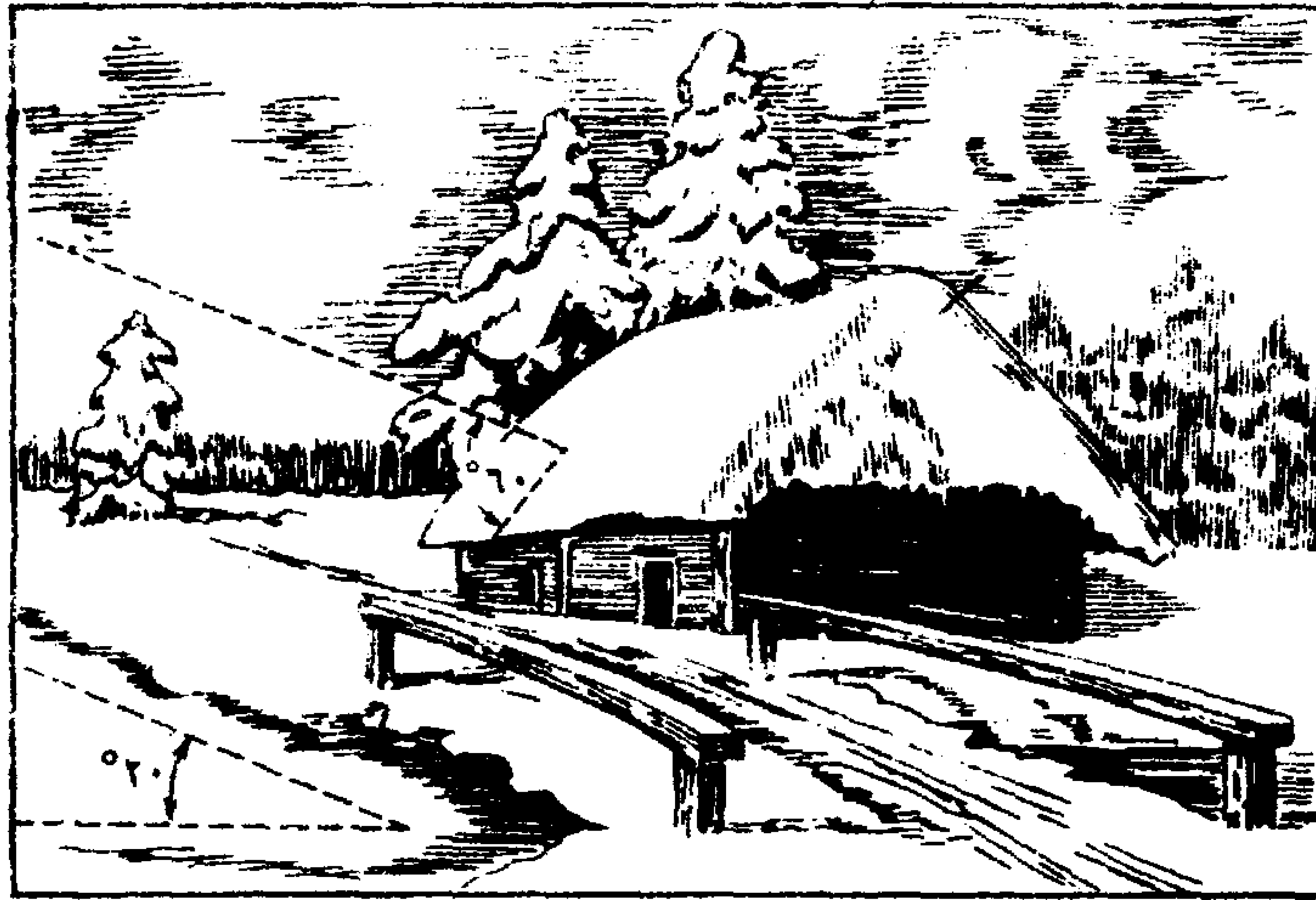
يعرف سكان المناطق الشمالية الباردة ، كيف تتكون على حافات سطوح المنازل واغصان الاشجار ، حبال جليدية متدلية الى الاسفل — هوابط جليدية صغيرة . فى اى فصل من السنة تتكون الحبال الجليدية ، هل فى فصل ذوبان الثلوج ام فى فصل الشتاء ؟ اذا كان ذلك فى فصل ذوبان الثلوج ، فكيف يتجمد الماء فى درجة حرارة تزيد عن الصفر ؟ واذا كان ذلك فى الشتاء ، فمن اين يظهر الماء فوق السطح ؟ يتضح من ذلك ، ان المسألة ليست بسيطة كما يبدو لاول وهلة . ان الحبال الجليدية عند تكوّنها ، تحتاج الى درجتى حرارة مختلفتين فى وقت واحد : لاجل الذوبان — درجة حرارة فوق الصفر ، ولاجل الانجماد — درجة حرارة تحت الصفر

وهذا ما يحدث فى الواقع ، اذ يذوب الثلج الموجود على منحدر السطح ، لان اشعة الشمس تسخنه الى درجة حرارة اعلى من الصفر ، اما قطرات الماء الجارية عند حافة السطح ، فتتجمد لان درجة الحرارة هنا تقل عن الصفر . (وبالطبع فاننا لا نقصد هنا حالة تكوّن الحبال الجليدية ، بسبب الحرارة الناجمة عن الغرفة الدافئة تحت السطح) .

لنتصور احد ايام الشتاء الصحوة ، الذى تتراوح فيه درجة الحرارة بين ١ — ٢° مئوية . والشمس تبعث باشعتها الى الارض ، الا ان هذه الاشعة المائلة لا تسخن الارض الى درجة تجعل الثلج يذوب . اما على منحدر السطح المواجه للشمس ، فان الاشعة لا تسقط هناك بصورة مائلة ، كما تسقط على الارض ، ولكنها تسقط بزاوية

قريبة من الزاوية القائمة . ومن المعروف ان مقدار الاضاءة والتسخين بالاشعة ، يزداد بزيادة الزاوية التى تشكلها الاشعة مع السطح الذى تسقط عليه . (يتناسبُ تأثير الاشعة تناسبا طرديا مع جيب هذه الزاوية ، وبالنسبة للحالة المبينة فى الشكل ٨٧ ، تصل الى الثلج الموجود على السطح ، كمية من الحرارة تزيد بمرتين ونصف ، على كمية الحرارة التى تصل الى مساحة مساوية من الثلج ، على السطح الافقى لان جيب الزاوية ٦٠° اكبر من جيب الزاوية ٢٠° ، بمرتين ونصف) .

ولهذا السبب بالذات يكون السطح المائل اشد سخونة ، ويمكن ذوبان الثلج الموجود فوقه . ويسيل الماء الناتج عن ذوبان الجليد ، متدليا على هيئة قطرات ، من حافة السطح . ولكن درجة الحرارة تحت السطح ، تقل عن الصفر ، وبذلك فان القطرة ، التى تبرد ايضا بالتبخير ، تتجمد فى الحال . وتنزل قطرة ثانية فوق القطرة المتجمدة ، فتتجمد هى الاخرى ، وتليها قطرة ثالثة فتتجمد ايضا . . وهكذا الى ان يتكون تدريجيا حبل جليدى رفيع يتدلى الى الاسفل . وعند تكرار حالة الجو هذه مرات عديدة ، تصبح



شكل ٨٧ : ان اشعة الشمس تسخن السقف المائل ، اشد مما تسخن سطح الارض الافقى .

تلك الحبال الجليدية اطول مما كانت عليه ، وتتكون اخيرا حبال جليدية نامية ، تشبه الهوابط (الاعمدة الكلسية) المدلاة من سقوف الكهوف في بلطن الارض . وبهذا الشكل تنشأ الحبال الجليدية على سطوح العنابر (السقائف) ، وبصورة عامة على سطوح المباني الخالية من التدفئة .

ان سقوط اشعة الشمس بزوايا مختلفة ، يؤدى ايضا الى حدوث ظواهر حيوية كبيرة . فاختلاف المناطق المناخية واختلاف فصول السنة ، يعود بدرجة كبيرة * الى تغيّر زاوية سقوط اشعة الشمس . ان الشمس تبعد عنا شتاء ، بنفس المسافة التى تبعد بها عنا صيفا ، فهى تقع على بعد واحد من كلّ من القطبين وخط الاستواء (ان الفرق فى المسافة ضئيل جدا ، بحيث يمكن اهماله تماما) . ولكن ميل اشعة الشمس مع سطح الارض عند خط الاستواء ، اكثر من ميلها عند القطبين ، وفى الصيف تكون هذه الزاوية اكبر مما هى عليه فى الشتاء . وهذا يؤدى الى اختلافات واضحة فى درجة الحرارة نهارا ، وبالتالى الى اختلافات فى الطبيعة برمتها .

---

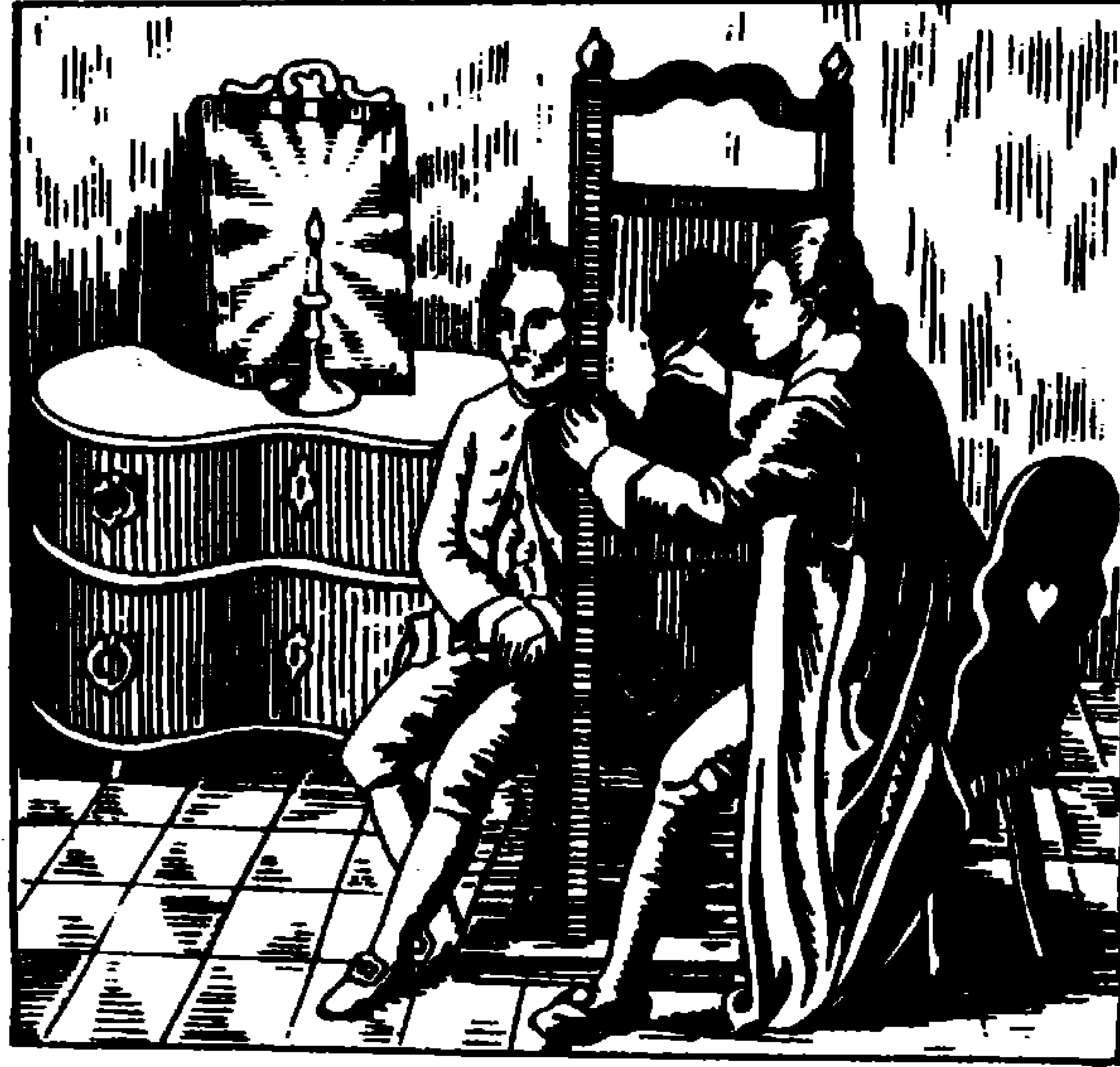
* ولكن ليس كليا ، لان هناك سببا مهما آخر ، يتلخص فى اختلاف طول النهار ، اى طول تلك الفترة الزمنية ، التى تسخن خلالها الشمس الارض . وبالمناسبة ، فان كلا السببين ، يرجعان الى حقيقة فلكية ، هى ميل محور الارض بالنسبة لمستوى دوران الارض حول الشمس .

الفصل السابع | الضوء

اللحاق بالظلال

اذا لم يكن اجدادنا يتمكنون من اللحاق بظلالهم ، فقد استطاعوا الاستفادة منها . اذ رسموا بمساعدة الظلال ما يسمى بـ « الخيال » — الصورة الظلية لجسم الانسان .

وفى الوقت الحاضر ، بامكان كل منا ان يصور نفسه او الناس المقربين اليه ، بواسطة آلات التصوير الفوتوغرافى . ولكن الناس فى القرن الثامن عشر ، لم يكونوا سعداء

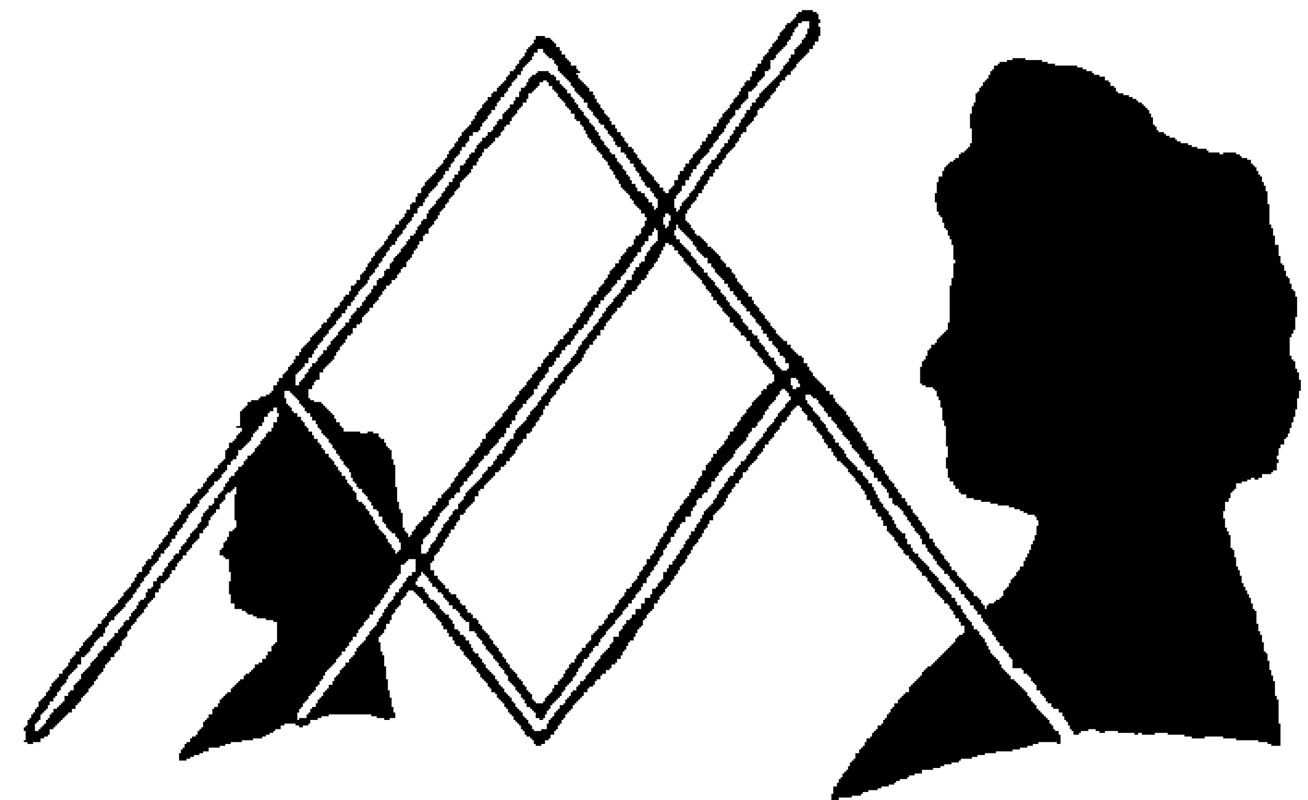


شكل ٨٨ : طريقة قديمة لرسم صور الخيال .

مثلنا ، اذ كان الرسامون يتقاضون مبالغ طائلة لقاء القيام برسم صورة الشخص الراغب في ذلك ، وكان هذا الامر في متناول عدد قليل من الناس فقط . ولهذا السبب ، كانت الصور الظلية منتشرة في ذلك الوقت الى درجة معينة ، الى ان حل محلها التصوير الفوتوغرافي الحديث . ان الخيال ، هو عبارة عن ظل محصور ومثبت . ويرسم الخيال بصورة ميكانيكية ، وهو يعبّر من هذه الناحية ، عن الصورة المضيئة المقابلة له . ونحن نستخدم الضوء هنا . اما اجدادنا ، فقد استخدموا الظل لهذا الغرض بالذات .

ويبين الشكل ٨٨ ، كيف كانوا يرسمون الخيال . كان على الشخص الذى يريد الحصول على صورته الظلية ، ان يدير رأسه ، بحيث يعطى الظل منظرا جانبيا مميزا لذلك الشخص ، فيقوم شخص آخر بتخطيط محيط الظل بالقلم . وبعد ذلك تلون المساحة المحصورة داخل المحيط بالحبر الصيني الاسود ، وتقصّ ثم تلصق على ورقة بيضاء ، وهكذا يصبح الخيال جاهزا . وكانوا يصغرون الخيال حسب رغبتهم : بواسطة جهاز خاص يسمى بالبانتوغراف او المنساخ (شكل ٨٩) .

وقد يفكر القارئ بان هذا الرسم المحيطي البسيط ، لا يمكن ان يعطى فكرة عن الملامح المميّزة للاصل . ان الامر على العكس من ذلك ، لان الخيال الناجح ، يتميّز احيانا بتشابهه المدهش مع الاصل .



شكل ٨٩ : تصغير صورة الخيال .



شكل ٩٠ : صورة خيال الشاعر الالماني شيلر (١٧٩٠) .

وهذه الخاصيّة المميّزة للصور الظلية ـ التشابه مع الاصل عند بساطة الرسم المحيطي ـ جلبت انتباه بعض الرسامين ، الذين اصبحوا يرسمون على هذه الشاكلة ، مشاهد مسرحية ومناظر طبيعية كاملة . . وغير ذلك . وبفضل رسم الصور الظلية ، نشأت بالتدريج مدرسة مستقلة لاولئك الرسامين .

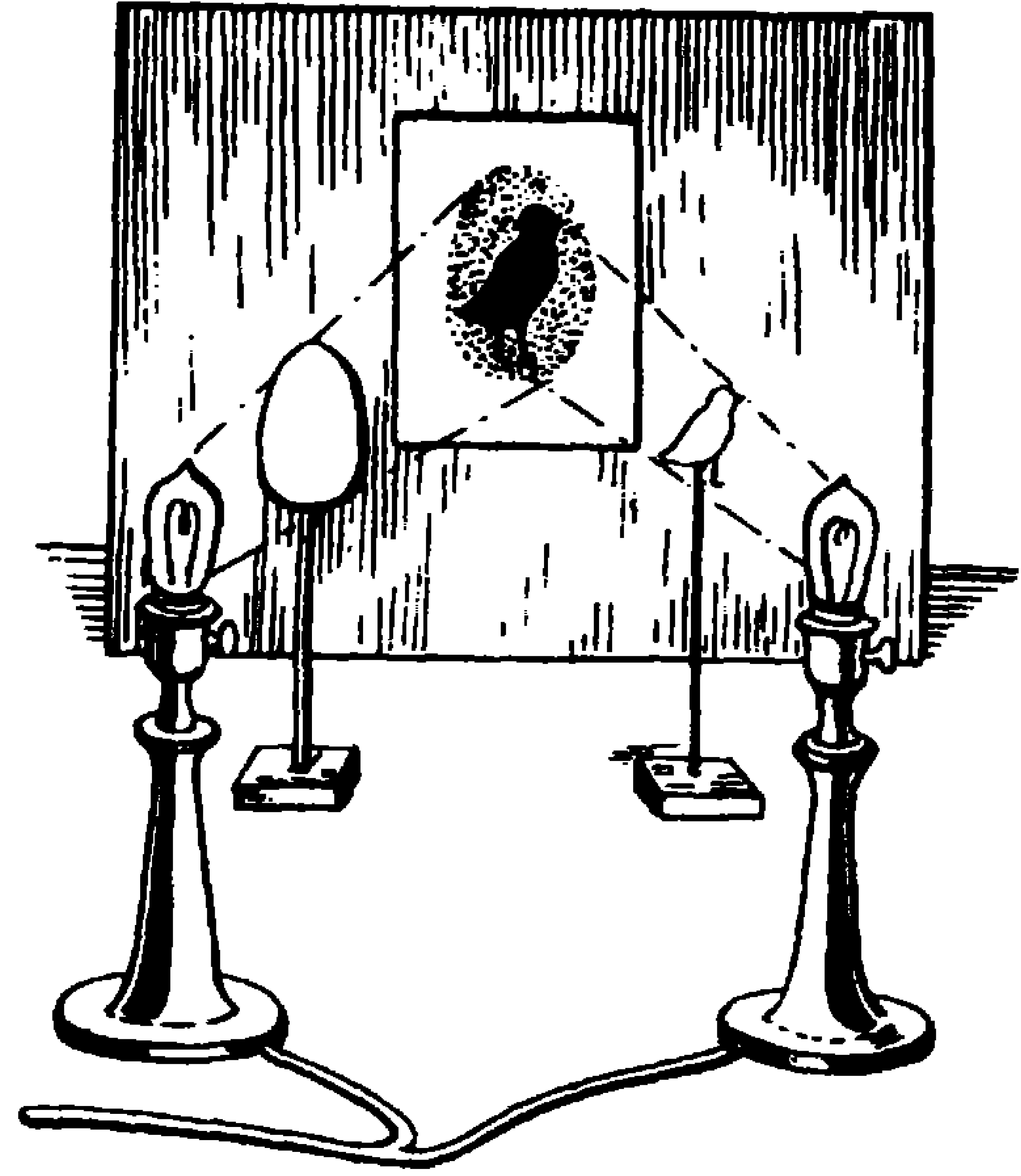
والشيء الطريف هنا ، هو ان الاسم اللاتيني لكلمة « خيال » وهو « silhouette » مأخوذ من اسم عائلة وزير مالية فرنسا في منتصف القرن الثامن عشر ، وهو (Etienne de Silhouette). وكان هذا الوزير قد دعا معاصريه الى الاقتصاد المعقول ، وعاتب النبلاء الفرنسيين ، على صرف المبالغ الطائلة بغية الحصول على اللوحات الفنية والصور الشخصية . وكان رخص الصور الظلية ، هو الدافع الذى جعل بعض الظرفاء في ذلك الوقت ، يطلقون عليها اسم ذلك الوزير .

الفرخ في داخل البيضة

يمكن الاستفادة من خواص الظلال ، لنعرض على الاصدقاء بعض الملاعيب المسلية الطريفة . نأخذ ورقة مدهنة ونجعل منها شاشة ، وذلك بلصقها فوق فراغ مربع الشكل ، محفور على قطعة من الورق المقوى ، ونضع خلف الشاشة مصباحين ، اما المشاهدون فسيجلسون اما الشاشة ، من الجهة المقابلة . نضيء احد المصباحين ، وليكن المصباح الايسر مثلا .

والآن نضع بين المصباح المضاء والشاشة ، قطعة بيضوية الشكل من الكارتون ، مثبتة على حامل سلكي . وعندئذ سيظهر على الشاشة بطبيعة الحال ، خيال البيضة (لا داعي الآن لاضاءة المصباح الثاني) . والآن اخبر الضيوف بان جهاز رونتجن (اشعة اكس) سيبدأ في العمل ، ويريهم الفرخ في داخل البيضة ! وبعد برهة قصيرة ، يشاهد الضيوف بالفعل ، خيال البيضة المتألق الاطراف ، وقد ظهر في وسطه خيال الفرخ ، بصورة واضحة للغاية (شكل ٩١) . ان حل هذا اللغز بسيط

جدا : اننا نضئ المصباح الايمن، الذى تعترض طريق اشعته قطعة من الكارتون مقصوصة على هيئة فرخ . ان جزء الظل البيضوى ، الذى يسقط عليه ظل الفرخ ، يكون مضاء بواسطة المصباح الايمن ، ولذلك تكون اطراف البيضة اكثر تألقا من قسمها الداخلى . اما المشاهدون الجالسون من الناحية الاخرى للشاشة، وهم لا يشكون فيما يعرض امامهم ، فقد يفكرون على الارجح — اذا لم يكن لهم اطلاع على الفيزياء او علم التشريح — بان البيضة بالفعل قد ادخلت فى جهاز رونتجن.



شكل ٩١ : صورة بأشعة رونتجن (إكس) المزيفة .

صور كاريكاتورية

ان كثيرا من القراء لا يعلم ان بالامكان صنع آلة التصوير ، دون استخدام اية عدسة ، اذ يستعاض عنها بفتحة دائرية صغيرة . ولكن الصورة تكون عندئذ ، اقل وضوحا . وهناك نوع طريف من انواع آلات التصوير الخالية من العدسات ، يسمى بآلة التصوير « ذات الشقّين » ، اذ يوجد فيها بدل الفتحة الدائرية ، شقّان متصالبان . وتوجد فى مقدمة آلة التصوير شريحتان خشبيتان ، وقد حفر فى احداهما شق عمودى ، وفى الثانية شق افقى . فاذا قربنا الشريحتين من بعضهما تماما ، فسوف نحصل على صورة مماثلة للصورة التى نحصل عليها بواسطة آلة التصوير ذات الفتحة الدائرية ، اى صورة حقيقية . ويختلف الامر تماما ، اذا ما ابعدنا الشريحتين عن بعضهما



شكل ٩٢ : صورة كاريكاتورية ممطوطة افقيا . (تم
الحصول عليها بواسطة آلة التصوير ذات الشق)



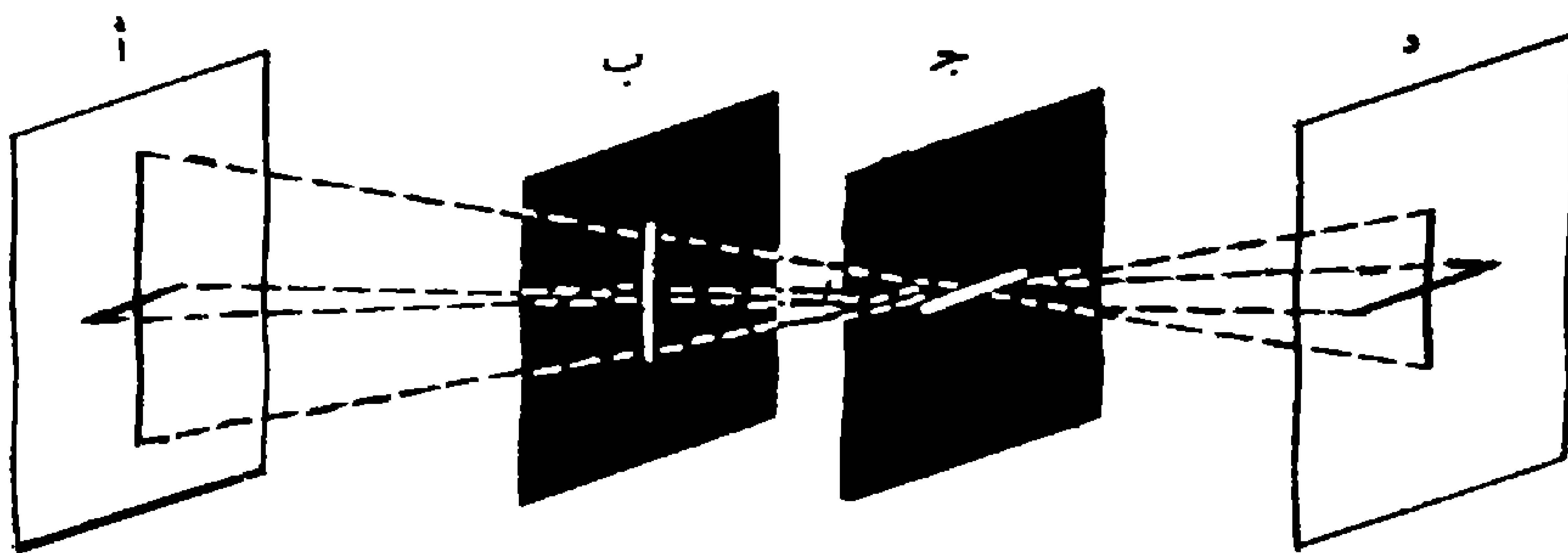
لمسافة قليلة (وتكون الشريحتان فى وضع يسمح بتحريكهما قصدا) ؛ عندئذ تشوه الصورة بشكل مضحك ، كما هو مبين فى الشكلين ٩٢ و٩٣ . ويكون من الاصح ان نسميها صورة كاريكاتورية ، وليس صورة فوتوغرافية .

بماذا يفسر هذا التشوه ؟

لندرس الحالة التى يكون فيها الشق الافقى امام الشق العمودى (شكل ٩٤) . ان الاشعة المنبعثة عن الخطوط العمودية للجسم د (الصليب) ، تمر من خلال الشق الاول جـ ، مثلما تمر من خلال اية فتحة اخرى بسيطة ، ولا يؤثر الشق الخلفى على مرور هذه الاشعة مطلقا . ونتيجة لذلك ، فان صورة الخط العمودى تظهر على لوح الزجاج المسنفر أ ، بمقياس يتناسب مع المسافة الفاصلة بين اللوح الزجاجى أ وبين الشريحة جـ ؛

اما صورة الخط الافقى التى تظهر على اللوح الزجاجى والتى تكون لها نفس الوضعية السابقة للشقين ، فتختلف عن ذلك تماما . ان الاشعة تعبر من خلال الشق الاول (الافقى) بدون اية عقبة ، ولا تتقاطع الا عندما تصل الى الشق العمودى ب ، وتعبر من خلاله مثلما تعبر من خلال فتحة ما ، لتشكل على اللوح الزجاجى أ صورة بمقياس يتناسب مع المسافة الفاصلة بين اللوح الزجاجى أ وبين الشريحة الثانية ب .

وباختصار ، فعند الوضعية المذكورة للشقين ، لا يهم الخطوط العمودية سوى الشق الامامى جـ ؛ وعلى العكس من ذلك ، لا يهم الخطوط الافقية سوى الشق الخلفى



شكل ٩٤ : سبب تشوه الصور الملتقطة بآلة التصوير ذات الشق .

ب . ولما كان الشق الامامى ج ، اكثر بعدا عن اللوح الزجاجي أ ، من الشق الخلفى ب ، فان كافة الابعاد العمودية تكون ممثلة على اللوح الزجاجى أ بمقياس اكبر من مقياس الابعاد الافقية . وبعبارة اخرى ، تظهر الصورة وكأنها ممطوطة عموديا (شكل ٩٣) .

وعلى العكس من ذلك ، فعند قلب وضعية الشقين ، تظهر الصورة وكأنها ممطوطة افقيا (شكل ٩٢) .

ومن الواضح انه عند وضع الشقين بصورة مائلة ، سنحصل طبقا لذلك ، على صورة مشوهة من نوع آخر .

ولا تستخدم آلة التصوير هذه لغرض الحصول على صور كاريكاتورية فقط ، بل وتستخدم ايضا لاغراض عملية اكثر اهمية . فمثلا ، تستخدم لاعداد اوجه متنوعة للزخرفة المعمارية ، وزخرفة السجاجيد وورق الجدران وغير ذلك ، وبصورة عامة ، للحصول على نقوش وزخارف ، ممطوطة او مضغوطة فى اتجاه معيّن وذلك حسب رغبة الفنان .

مسألة حول شروق الشمس

لنفرض اننا قمنا بمراقبة شروق الشمس ، فى الساعة الخامسة صباحا بالضبط . ولكن المعروف ان الضوء لا ينتشر فى لمح البصر ، بل تحتاج اشعته الى بعض الوقت لكى تصل من مصدر الضوء الى عين المراقب . ولذلك يمكن ان نطرح السؤال التالى : فى اية ساعة بالضبط ، كنا سنشاهد ذلك الشروق بالذات ، لو كان الضوء ينتشر فى لمح البصر ؟

ان الضوء يقطع المسافة بين الشمس والارض فى ٨ دقائق . يظهر من ذلك ، انه عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، كنا سنشاهد شروق الشمس قبل موعده بـ ٨ دقائق ، اى فى الساعة الرابعة والدقيقة الثانية والخمسين .

وربما استغرب الكثير من الناس ، اذا ما علم بان الاجابة السابقة غير صحيحة مطلقا . ان الشمس تشرق ، لان الكرة الارضية تدور لتواجه الفراغ المضاء سابقا . ولهذا السبب ، فعند انتشار الضوء في لمح البصر ، كنا سنشاهد شروق الشمس في نفس اللحظة ، اى في الساعة الخامسة صباحا بالضبط *.

ويختلف الامر اذا ما قمنا بمراقبة ظهور نتوء ما على حافة الشمس « بالتلسكوب » . اذ اننا في حالة انتشار الضوء في لمح البصر ، كنا سنشاهده قبل ٨ دقائق .

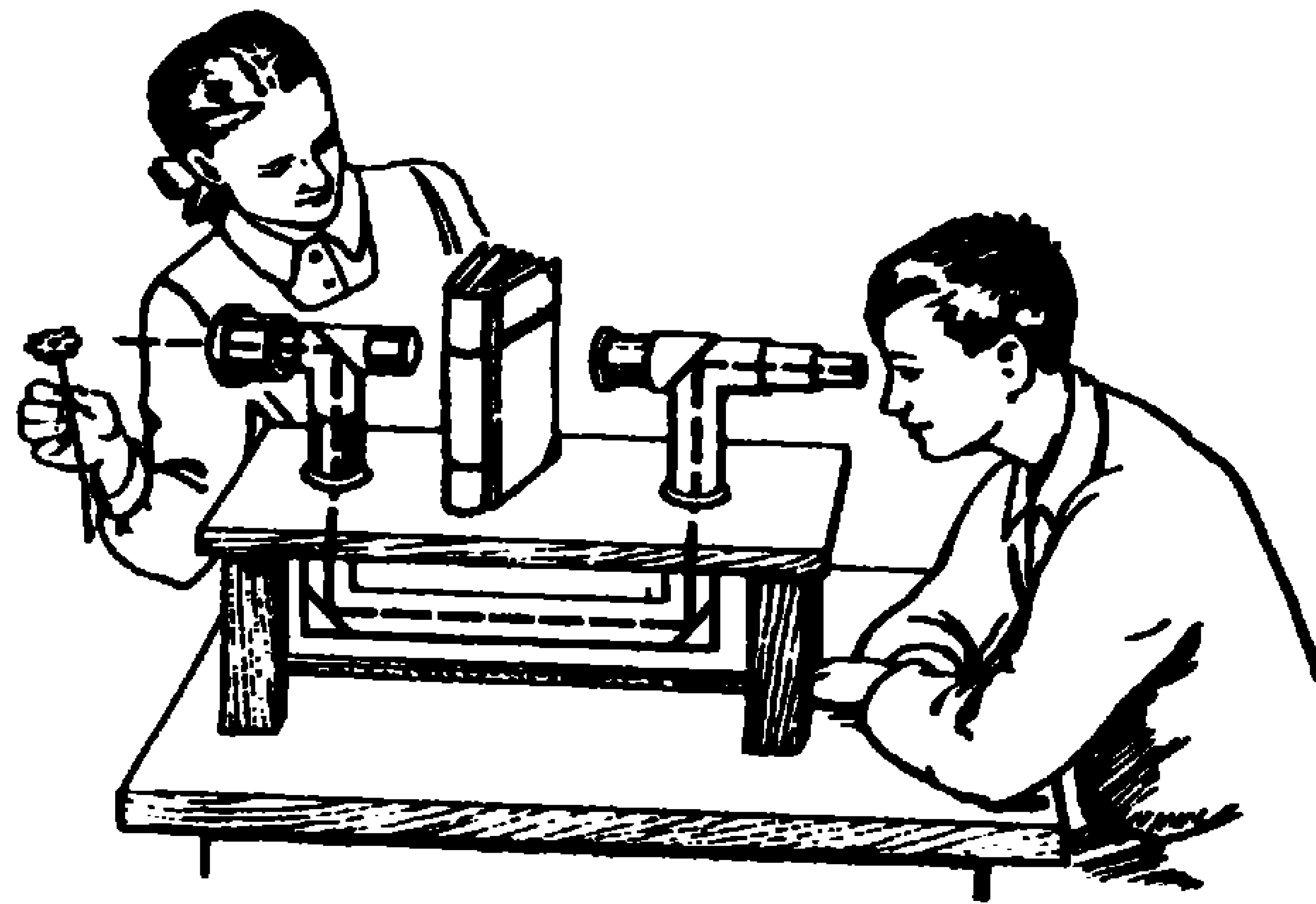
---

* اذا أخذنا في الاعتبار ما يسمى بـ « الانكسار الجوى » ، فان النتيجة ستكون غير متوقعة اكثر . ان الانكسار يحني طريق الاشعة في الفضاء ، وبذلك يجعلنا نشاهد شروق الشمس ، قبل ظهورها بالفعل فوق الافق . ولكن عند انتشار الضوء في لمح البصر ، لا يمكن حدوث الانكسار ، وذلك لان الانكسار يعتمد في حدوثه على اختلاف سرعة الضوء في الاوساط المختلفة . وعدم وجود الانكسار ، يجعل المراقب يشاهد شروق الشمس ، في وقت متأخر قليلا ، عما هو عليه ، في حالة عدم انتشار الضوء في لمح البصر . وهذا الاختلاف يعتمد على خط العرض الذى يقع عليه مكان المراقبة ، وعلى درجة حرارة الهواء وعلى عوامل اخرى . وتتراوح قيمة ذلك الاختلاف (الفرق) بين دقيقتين وبضعة ايام ، وحتى اكثر من ذلك (عند خطوط العرض القطبية) . وينتج من ذلك تناقض ظاهرى طريف : عند انتشار الضوء في لمح البصر ، فان شروق الشمس يبين في وقت اكثر تأخيرا من الوقت الذى يبين فيه ، عند عدم انتشار الضوء في لمح البصر !

الفصل الثامن | # انعكاس وانكسار الضوء

الرؤية من خلال الجدران

في تسعينيات القرن الماضي ، كان يباع في الاسواق جهاز يحمل اسما رنانا هو « جهاز رونتجن » . واتذكر كيف اصابني الارتباك ، عندما تناولت بيدي لاول مرة ، ذلك الجهاز الماهر الصنع ، وكنت لم ازل بعد تلميذا . وقد استطعت بواسطته ، ان ارى الاشياء خلال حواجز غير منفذة ! وقد تمكنت ان اميّز الاشياء المحيطة بي ، ليس خلال ورقة سميكة فقط ، بل وخلال نصل السكين ، الذى لا يمكن ان تخترقه حتى اشعة اكس الحقيقية . واذا نظرنا الى الشكل ٩٥ ، الذى يبين لنا النموذج الاصلي لذلك الجهاز المذكور ، فسوف نعرف سر تركيبه فى الحال . يحتوى الجهاز على



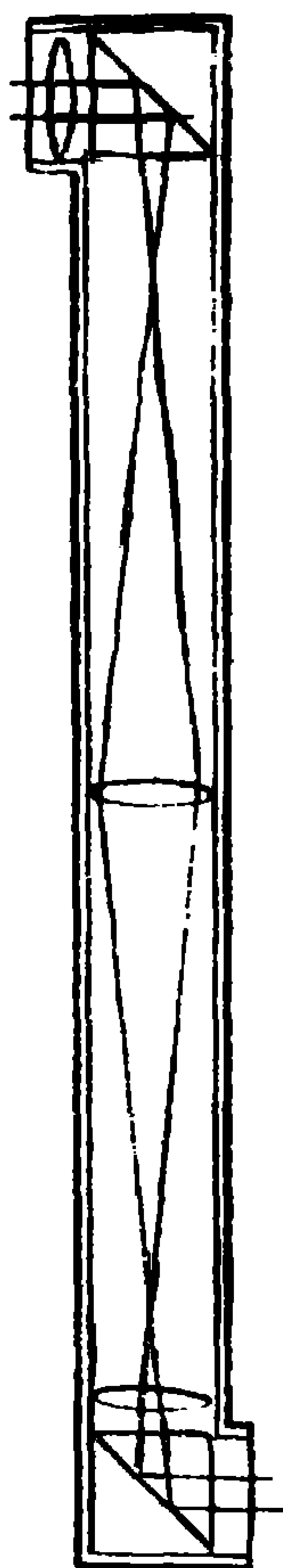
شكل ٩٥ : جهاز رونتجن (اشعة إكس) المزيف .

اربع مرايا صغيرة ، مائلة بزاوية ٤٥° ، تقوم بعكس الاشعة عدة مرات ، الى ان تمررها حول الحاجز غير المنفذ .

وتستخدم مثل هذه الاجهزة بكثرة ، فى المهمات الحربية . ويمكن عند الجلوس فى الخندق ، مراقبة تحركات العدو ، دون ان نرفع الرأس فوق مستوى الارض ، وبذلك



شكل ٩٦ : البيريسكوب .



شكل ٩٧ : رسم تخطيطى لبيريسكوب الغواصة .

نتجنب نار العدو . ويسمى الجهاز الذى نستخدمه لهذا الغرض بـ « البيريسكوب » وهو مبين فى الشكل ٩٦ .

وكلما طال طريق الاشعة من الهدف الى عين المراقب ، كلما قل مجال الابصار الحاصل فى البيريسكوب . ولتكبير مجال الابصار تستخدم مجموعة خاصة من العدسات البصرية . ولكن العدسات تمتص جزءا من الضوء الداخل الى البيريسكوب . ولهذا السبب ، يقل وضوح الرؤية ، الامر الذى من شأنه تحديد الارتفاع الاقصى للبيريسكوب . بحوالى عشرين مترا . اما الاجهزة التى يزيد ارتفاعها على ذلك ، فتعطى مجال ابصار صغير جدا ، وتكون الصورة فيها غير واضحة ، وخاصة فى الجو الغائم .

وباستخدام البيريسكوب ، يستطيع قائد الغواصة ان يراقب السفينة التى يريد مهاجمتها — للبيريسكوب ماسورة طويلة يخرج طرفها فوق سطح الماء . وتركيب هذا البيريسكوب اكثر تعقيدا من تركيب البيريسكوب البرىّ ، غير ان المبدأ واحد : تعكس الاشعة بواسطة مرآة (او مواشير) ، مثبتة فى الجزء البارز من البيريسكوب ، وتمر بعد انعكاسها فى داخل الماسورة بصورة محاذية لها ، ثم تنعكس فى القسم السفلى ، وتذهب الى عين المراقب (شكل ٩٧) .

الراس «المقطوع» يتكلم !

ان هذه « المعجزة » كثيرا ما طالعت الناس سابقا ، وخاصة فى « متاحف الطرائف » المتنقلة فى الريف . وفى الحقيقة ، فان هذه المعجزة تذهل الانسان ، اذ يرى امامه رأسا آدميا مقطوعا ، وقد وضع فى طبق على منضدة صغيرة ، وهو حىّ (اى الرأس) تتحرك عيونه ويتكلم ويأكل ! وبالرغم من عدم استطاعة احد من المشاهدين ، التقرب من المنضدة — لوجود حاجز — يتضح انه لا يوجد اى شىء تحتها .

واذا ما شاهد القارئ فى المستقبل مثل هذه « المعجزة » . فما عليه الا ان يأخذ ورقة مجعدة ، ويقذفها فى الفراغ الموجود تحت المنضدة . سيرى بعد ذلك ان اللغز

قد اصبح واضحا فى الحال : اذ سترتد الورقة عن المرآة ! واذا لم تصل الى المرآة ،فانها مع ذلك ستكشف وجود المرآة ، وذلك لان صورتها ستظهر فيها (شكل ٩٨) .

ويكفى ان نضع مرآة تمتد من احدى قوائم المنضدة الى القائمة الاخرى ، لكى يظهر الفراغ الموجود تحتهما خاليا بالنسبة للمشاهد البعيد — طبعا فى حالة واحدة فقط ، هى عند عدم انعكاس اثاث الغرفة او الجمهور ، فى المرآة . ولهذا ، يجب ان تكون الغرفة خالية ، والجدران متشابهة تماما ، وارضية الغرفة مدهونة بلون واحد ، بلا زخرفة ، ويبعد الجمهور عن المرآة بمسافة كافية تفى بالغرض .



شكل ٩٨ : سر الرأس « المقطوع » .

ان السر هنا بسيط جدا . ولكن لعدم اطلاع القارئ عليه بعد ، فانه سيبقى حائرا فى ماهيته .

واحيانا ، يزداد الملعوب غواية . يقوم الحاوى اولا بعرض المنضدة وهى فارغة ، لا يوجد اى شىء فوقها او تحتها . ثم يجلب مساعدوه من وراء المسرح ، صندوقا مقفلا ، كما لو كان فى داخله الرأس المقطوع (اما فى الواقع فان الصندوق فارغ) . يضع الحاوى هذا الصندوق على المنضدة ، ويفتح الجدار الامامى — ويظهر امام الجمهور المشدوه ، رأس مقطوع يتكلم . ربما يكون القارئ الآن قد عرف ان سطح المنضدة يحتوى على قسم قلابى ، يسد الفتحة ، التى من خلالها يقوم الرجل الجالس تحت المنضدة ، وراء المرآة ، باخراج رأسه عندما يوضع على المنضدة ، ذلك الصندوق الفارغ ، الذى لا يحتوى على قعر . وهناك طرق اخرى عديدة للقيام بمثل هذه الخدعة ، لا يتسع المجال لذكرها هنا ، ونأمل ان يكون بمستطاع القارئ حل الغازها بنفسه .

من الامام ام من الوراء ؟

هناك كثير من اللوازم المنزلية ، التى لا يحسن عدد كبير من الناس ، استخدامها بصورة ملائمة للغرض . وقد ذكرنا سابقا ، ان بعض الناس لا يحسنون استخدام الجليد للتبريد ، اذ يضعون الشراب المراد تبريده ، على الجليد ، بدلا من وضعه تحته . ويتضح ان عددا من الناس لا يحسن استخدام المرآة . ففى كثير من الاحيان ، عندما يريد احدهم رؤية نفسه بوضوح فى المرآة ، يأتى بمصباح ويضعه وراءه ، لكى « يضىء صورته » ، بدلا من اضاءة نفسه بالذات ! وهناك كثير من النساء ، يتصرفن على هذا النحو . اما قارئة هذا الكتاب ، فلا شك فى انها ستنتبه الى ضرورة وضع المصباح امام نفسها .

هل يمكن رؤية المرآة ؟

وهذا دليل آخر على عدم معرفتنا الكافية بالمرآة العادية : فعندما نسأل ، هل يمكن رؤية المرآة ، يجيب اكثر الناس اجابة غير صحيحة ، مع ان الجميع ينظر فى المرآة يوميا ؟

ان من يعتقد انه يستطيع رؤية المرآة ، يكون مخطئا . ان المرآة الجيدة النظيفة ، لا ترى مطلقا . يمكن رؤية اطار المرآة وحافاتها ، والاشياء المنعكسة فيها ، اما المرآة نفسها ، فيما اذا لم تكن متّسخة ، فلا يمكن رؤيتها . ان كل سطح عاكس ، يتميّز عن السطح المشتت ، بانه غير مرئىّ بتاتا (السطح المشتت ، هو ذلك السطح الذى يشتت اشعة الضوء ، فى كافة الاتجاهات الممكنة . وفى حياتنا العملية ، نسمى السطح العاكس بالسطح الملمّع ــ المصقول ــ والسطح المشتت ، بالسطح العاتم) .

ان كافة الحيل والالغاز يتم تنفيذها عن طريق استخدام المرايا وحتى لو أخذنا على سبيل المثال تجربة الرأس « المقطوع » ، فان سر هذه الخدعة يكمن فى ان المرآة نفسها غير مرئية ، اما ما نشاهده فهو الاشياء المنعكسة منها فقط .

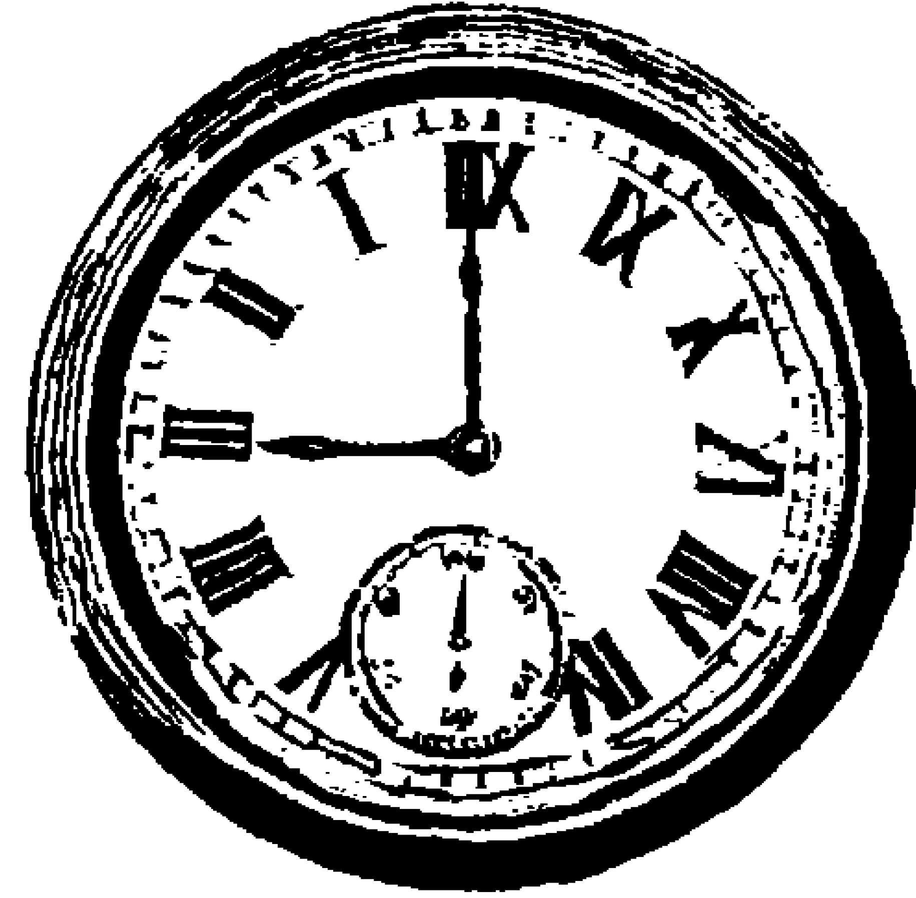
من نرى عندما ننظر في المرآة ؟

« طبعا نرى انفسنا — هذا ما يجيبه الكثير من الناس ، لان صورتنا في المرآة هي نسخة طبق الأصل منا ، وتشبهنا من كافة الوجوه » .

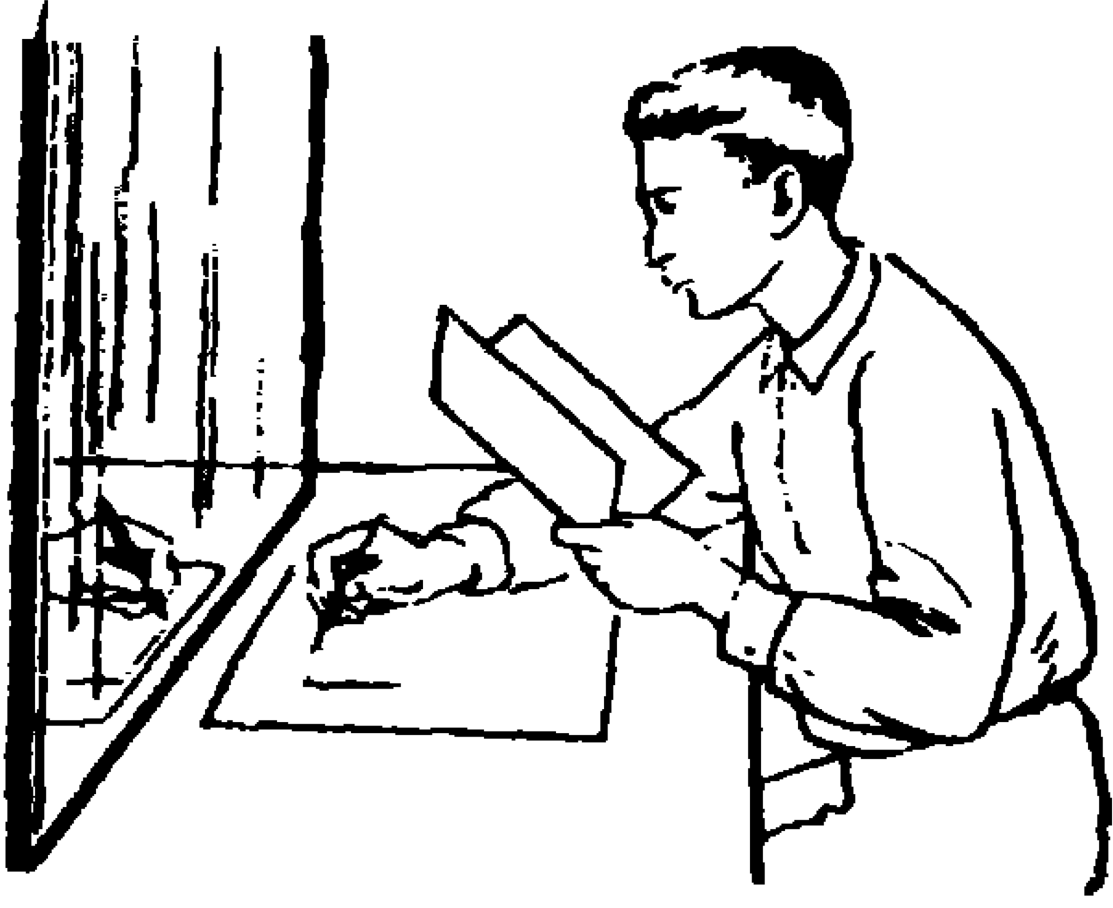
ولكن ، اليس من الملائم التأكد من هذا التشابه ؟ لنفرض ان للقارئ شامة على خده الايمن ، فلو نظر فى المرآة لرأى ان الخد الايمن لشبيهه نظيف . اما الخد الايسر ، فعليه شامة . واذا كنت تمشط شعرك على الجهة اليمنى ، فسيمشط شبيهك شعره على الجهة اليسرى . واذا كان حاجبك الايمن اعلى واكثف من الايسر ، فسيكون شبيهك بعكس ذلك ، فالحاجب الايمن عنده واطئ وغير كثيف . واذا كنت تضع الساعة فى الجيب الايمن للسترة ، ودفتر المذكرات فى الجيب الايسر ، فستكون ساعة شبيهك موضوعة فى جيبه الايسر ، ودفتر المذكرات فى جيبه الايمن . لاحظ ميناء الساعة التى يحملها شبيهك ، لم يكن عندك مثل هذه الساعة ابدا : ان ترتيب وخط الارقام الموجودة على الميناء ، غير طبيعيين . مثلا ان الرقم ثمانية ، مخطوط بشكل غريب ليس له وجود فى العالم — IIX ، وقد وضع فى مكان الرقم اثنى عشر ، الذى ليس له وجود بدوره . وبعد الرقم ستة يأتى الرقم خمسة . . وهكذا (شكل ٩٩) . وبالاضافة الى ذلك ، فان عقارب ساعة شبيهك ، تتحرك عكس الحركة العادية لعقارب ساعتك .

واخيرا ، فان لشبيهك فى المرآة ، عيبا بدنيا لا يوجد فيك على كل حال ، انه اعسر . فهو يكتب ويخيط ويأكل باليد اليسرى ، واذا اردت ان تحييه ، فسوف يرد عليك التحية باليد اليسرى .

وليس من السهل ان نقرر ، فيما اذا كان شبيهك يعرف القراءة والكتابة ام لا . وعلى كل حال فهو يعرف القراءة والكتابة على طريقته الخاصة . ولا اعتقد بانك تستطيع ان تقرأ ولو سطرا واحدا ، من اسطر الكتاب الذى يحمله ، او كلمة واحدة من الكلمات المشوهة التى يخطها بيده اليسرى .



شكل ٩٩ : هذه ساعة تشبهك الذى تراه فى المرآة .



شكل ١٠٠ : الرسم امام المرآة .

ذلك هو الشخص الذى يدعى انه يشبهك تماما ! وانت بدورك ، تريد ان تحكم على منظرك الخارجي بمنظر ذلك الشخص .

لندع المزاح جانبا : اذا كان القارئ يفكر بانه عندما ينظر فى المرآة ، يرى نفسه ، فانه يخطئ فى ذلك . ان الوجه والجسم والملابس ، ليست متماثلة تماما عند اكثر الناس (بالرغم من اننا فى العادة ، لا نلاحظ ذلك) . ان النصف الايمن لا يشبه النصف الايسر كامل الشبه . وفى المرآة ، تنتقل كافة ميزات النصف الايمن الى النصف الايسر ، وبالعكس ، بحيث يظهر امامنا جسم ، يعطى فى اكثر الاحيان ، انطباعا يختلف تماما عن الانطباع الذى يعطيه جسمنا بالذات .

الرسم امام المرآة

ان عدم تماثل الصورة التى تظهر فى المرآة ، مع الاصل ، يبدو اكثر وضوحا عند القيام بالتجربة التالية :

ضع امامك على المنضدة ، مرآة بصورة عمودية على مستوى المنضدة ، ثم ضع امام المرآة ورقة ، وحاول ان ترسم عليها اى شكل ، مثلا مستطيلا بخطوط قطرية متقاطعة ، على الا تنظر اثناء ذلك الى يدك مباشرة ، بل تتبع حركات صورتها فى المرآة (شكل ١٠٠) .

سوف تتأكد ان هذه العملية البسيطة ، تصبح تقريبا غير ممكنة التحقيق . فخلال سنوات عديدة من عمرنا ، حصل توافق معيّن بين الانطباعات البصرية والاحاسيس الحركية . والمرآة تخل بهذا التوافق ، وذلك لانها تظهر لنا حركات اليد بصورة مشوهة . ان العادات المستحكمة ، ستعارض كل حركة تقوم بها اليد : فاذا اردت ان ترسم خطا من اليسار الى اليمين ، سترى ان يدك تحرك القلم من اليمين الى اليسار . . . وهكذا .

وسوف تظهر امامك اشياء اخرى غريبة غير متوقعة . فاذا حاولت ان ترسم بدل الاشكال البسيطة ، اشكالا اكثر تعقيدا ، او ان تكتب شيئا ما وتنظر الى السطور فى المرآة ، عندئذ سترى اشياء مختلطة تدعو الى الضحك .

والاختام التى تختم بها الاوراق ، هى الاخرى عبارة عن صور للتماثل الانعكاسى . لاحظ الكتابات الموجودة على اوراقك الخاصة ، وحاول ان تقرأها فى المرآة . انك سوف لا تستطيع ان تقرأ حتى كلمة واحدة منها ، ولو كانت اوضح الكلمات : ان للحروف ميلا غير طبيعى نحو اليسار (او نحو اليمين بالنسبة للغة العربية) ، والشئ الرئيسى هو ان تتابع السطور ، يختلف عن التتابع الذى اعتدت عليه . واذا وضعت المرآة بصورة عمودية على الورقة ، لاستطعت ان ترى فيها كافة الحروف ، كما اعتدت على مشاهدتها دائما . ان المرآة تعطى صورة متماثلة ، لما هو بالذات صورة متماثلة لخط يدك .

اقصر واسرع طريق

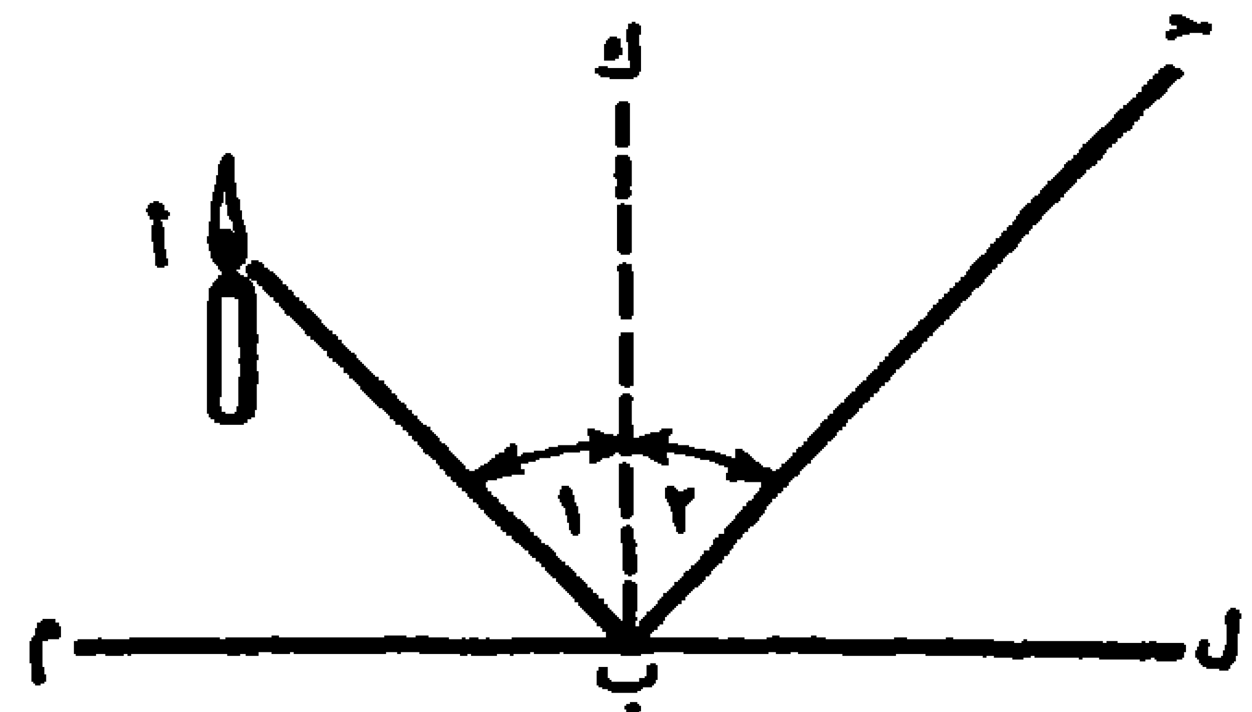
ان الضوء ينتشر فى الوسط المتجانس ، بصورة مستقيمة ، اى باقصر طريق . غير انه يختار اقصر طريق ايضا ، عندما لا ينتشر من نقطة الى اخرى مباشرة ، بل بعد انعكاسه فى المرآة .

والآن لنتتبع طريق الضوء . لنفرض ان الحرف أ فى الشكل ١٠١ ، يمثل

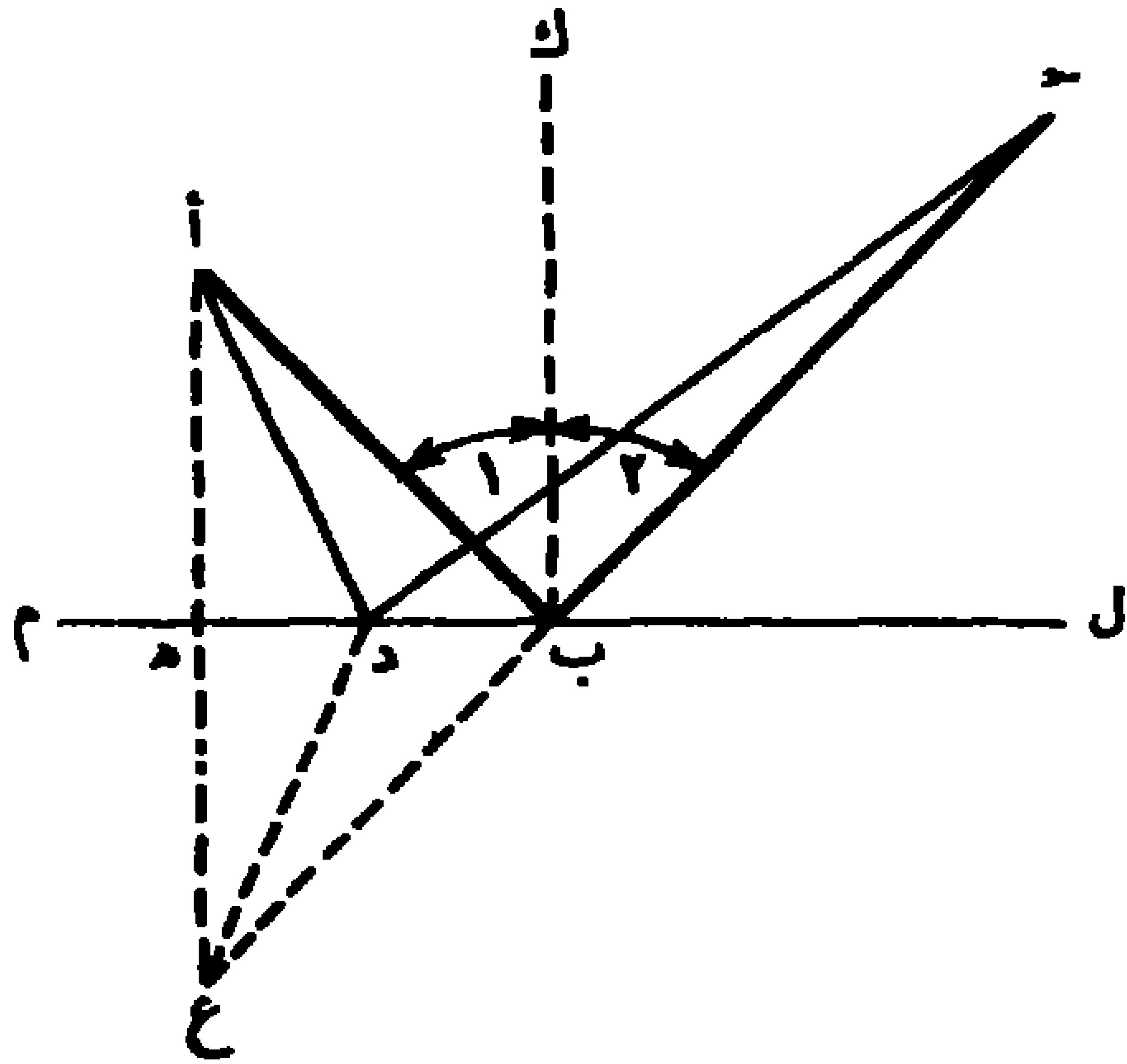
مصدر الضوء ، والخط م ل يمثل المرآة ، اما الخط المنكسر أ ب ج ، فيمثل طريق الشعاع ، المنبعث من الشمعة الى العين ج . والمستقيم ك ب عمودى على م ل .

وحسب قوانين الضوء ، فان زاوية الانعكاس ٢ ، تساوى زاوية السقوط ١ . وبمعرفة ذلك ، يمكن ان نثبت بسهولة ، ان الطريق أ ب ج ، هو اقصر الطرق الممكنة ، التى تصل بين أ و ج ، مع المرور بسطح المرآة م ل . ولهذا الغرض ، نقارن طريق الشعاع أ ب ج ، مع طريق آخر ، مثلا أ د ج (شكل ١٠٢) . ننزل العمود أ هـ من النقطة أ على الخط م ل ، ونمدّه الى الاسفل حتى يتقاطع مع امتداد الشعاع ب ج فى النقطة ع .

ونصل كذلك النقطتين ع و د بالمستقيم ع د . لنتأكد قبل كل شيء ، من تطابق المثلثين أ ب هـ و هـ ب ع . ان المثلثين قائما الزاوية ولهما ضلع مشترك هو هـ ب ، وبالاضافة الى ذلك ، فان الزاويتين هـ ع ب و هـ أ ب ، متساويتان فيما بينهما ، وذلك لانهما تتساويان بالتطابق ، مع الزاويتين ١ و ٢ . اذن ، أ هـ = هـ ع . وينتج مما سبق ان المثلثين أ هـ د و هـ د ع متطابقان ، وذلك لتساوى الضلعين القائمين . اذن ، أ د = د ع .



شكل ١٠١ : ان زاوية الانعكاس (٢) ، تساوى زاوية السقوط (١) .



شكل ١٠٢ : ان الضوء عند انعكاسه يختار اقصر الطرق .

وبناء على ذلك ، نستطيع الاستعاضة عن الطريق أ ب ج ، بالطريق ج ب ع المساوى له (لان آب = ع ب)، والاستعاضة عن الطريق أد ج بالطريق ج د ع . وبمقارنة الطريقين ج ب ع و ج د ع ، مع بعضهما، نجد ان الخط المستقيم ج ب ع أقصر من الخط المنكسر ج د ع . وينتج من ذلك ان الطريق أ ب ج اقصر من الطريق أ د ج ، وهو المطلوب اثباته !

واينما وقعت النقطة د ، فان الطريق أ ب ج ، سيكون دائما اقصر من الطريق أ د ج ، فيما اذا كانت زاوية الانعكاس مساوية لزاوية السقوط . وهذا يعنى ان الضوء بالفعل يختار اقصر واسرع طريق من بين كافة الطرق الممكنة ، الواصلة بين كل من مصدر الضوء والمرآة والعين .

وقد اشار الى ذلك لاول مرة ، العالم الاغريقى القديم هيرون الاسكندرى .

طيران الغراب

ان المقدرة على ايجاد اقصر طريق ، فى مثل الحالات التى بحثناها سابقا ، تساعدنا على حل بعض الالغاز . وعلى سبيل المثال اليكم المسألة التالية .

غراب جالس على غصن شجرة . وتوجد فى اسفل الشجرة على الارض ، حبوب مبعثرة . يهبط الغراب من الغصن ، ثم يلتقط حبة ويطير ليحط على السياج .

والسؤال الآن هو : من اى مكان يجب ان يلتقط الغراب تلك الحبة ، بحيث يكون طريقه اقصر ما يمكن ؟ (شكل ١٠٣) .

ان هذه المسألة مشابهة تماما ، للمسألة التى بحثناها توا . ولذلك لا يصعب علينا ان نجيب على هذا السؤال اجابة صحيحة :

يجب على الغراب ان يسلك طريق شعاع الضوء ، اى يطير بحيث تكون الزاوية ١ مساوية للزاوية ٢ (شكل ١٠٤) . وقد رأينا سابقا كيف ان الطريق فى هذه الحالة، يكون اقصر ما يمكن .



شكل ١٠٣ : مسألة الغراب . ايجاد اقصر طريق الى السياج .

الكاليدوسكوب (نظارة الاشكال والالوان الجميلة)

يعرف الجميع ما هو الكاليدوسكوب. انه عبارة عن بعض الشظايا الزجاجية المرقشة (الملونة) ، الموضوعة بين ثلاث مرايا مسطحة صغيرة . ويعطى الكاليدوسكوب اشكالا جميلة مدهشة ، تتغيّر عند اقل استدارة . ومع ان الكاليدوسكوب معروف الى درجة كافية ، فان قليلا من الناس يشكون فى العدد الهائل للاشكال المتنوعة التى يمكن الحصول عليها بواسطته . لنفرض ان الكاليدوسكوب الذى بين يدينا ، يحتوى على ٢٠ شظية زجاجية ، واننا نديره فى الدقيقة الواحدة ١٠ مرات ، للحصول على وضع جديد لتلك الشظايا العاكسة . ما هو الوقت اللازم ، لكى نستطيع مشاهدة جميع الاشكال المتكونة عند ذلك ؟

ان اوسع خيال فى العالم لا يمكن ان يتصور الاجابة الصحيحة على هذا السؤال .

قد تجف المحيطات وتتزعزع سلاسل الجبال ، قبل ان تنفذ كافة الزخارف ، التى تختفى بشكل بديع داخل ذلك الكاليدوسكوب الصغير . وذلك لاننا اذا اردنا

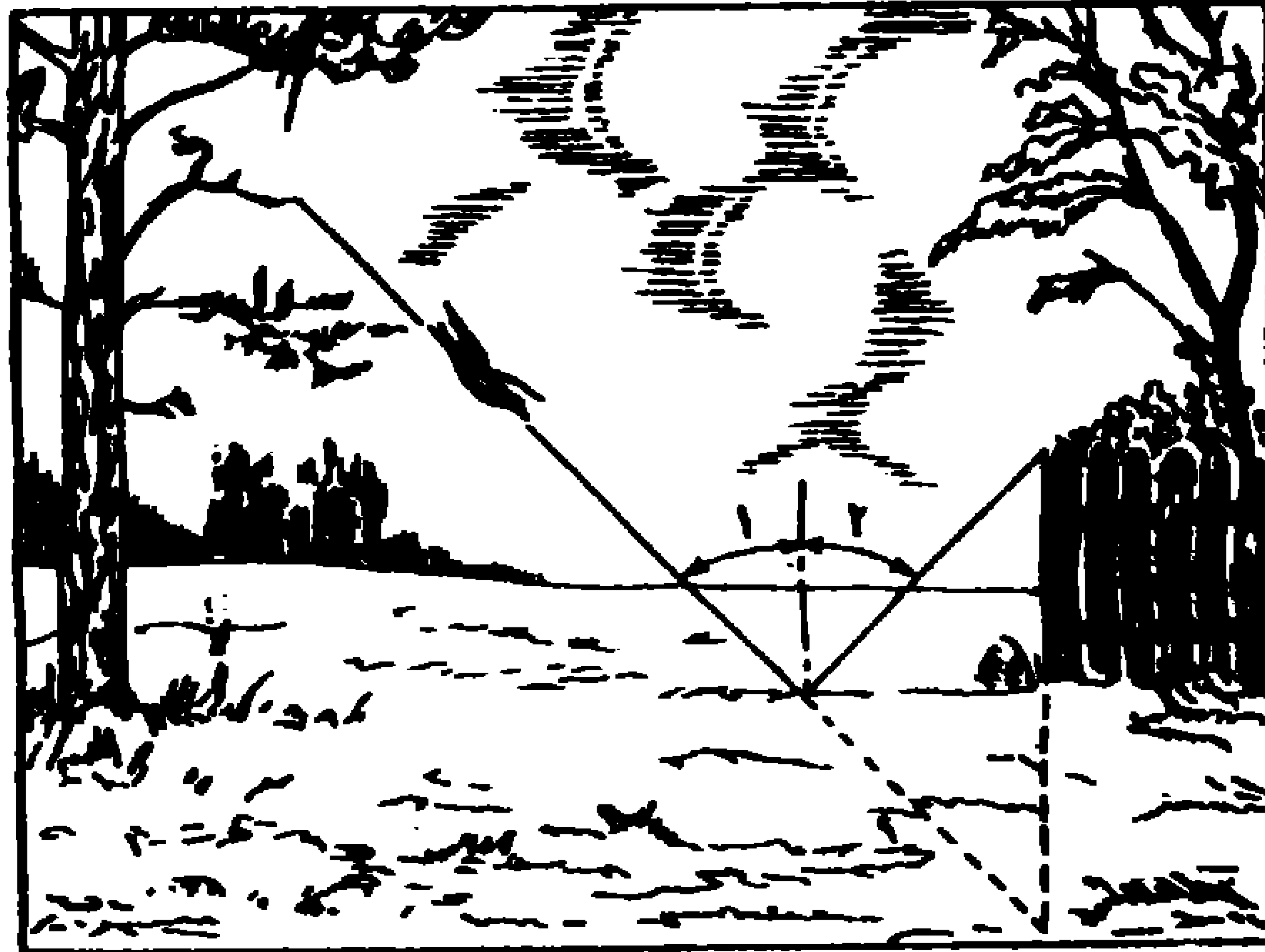
تنفيذ (عمل) كافة الزخارف ، لاحتجنا الى ٥٠٠٠٠٠ مليون سنة على الاقل . اى نحتاج الى تدوير الكاليدوسكوب لمدة خمسمائة الف مليون سنة ، لكى نتمكن من مشاهدة كافة زخارفه .

ان زخارف الكاليدوسكوب اللامتناهية الانواع والمتغيّرة على الدوام ، ما زالت منذ مدة طويلة ، موضع اهتمام رسّامى الزخارف ، الذين لا تستطيع مخيلتهم منافسة ابداعات الكاليدوسكوب ، التى لا تنضب .

ويعطى الكاليدوسكوب احيانا ، زخارف رائعة الجمال ، يمكن استخدامها بمثابة نماذج لنقوش ورق الجدران وزخرفة مختلف انواع الاقمشة وغير ذلك .

ولكن الكاليدوسكوب اليوم ، لا يثير اهتمام الجماهير ، كما كان عليه الحال قبل مائة عام ، عندما كان يعتبر شيئا جديدا بعد . فقد نظمت فى وصفه الاشعار ودبجت المقالات .

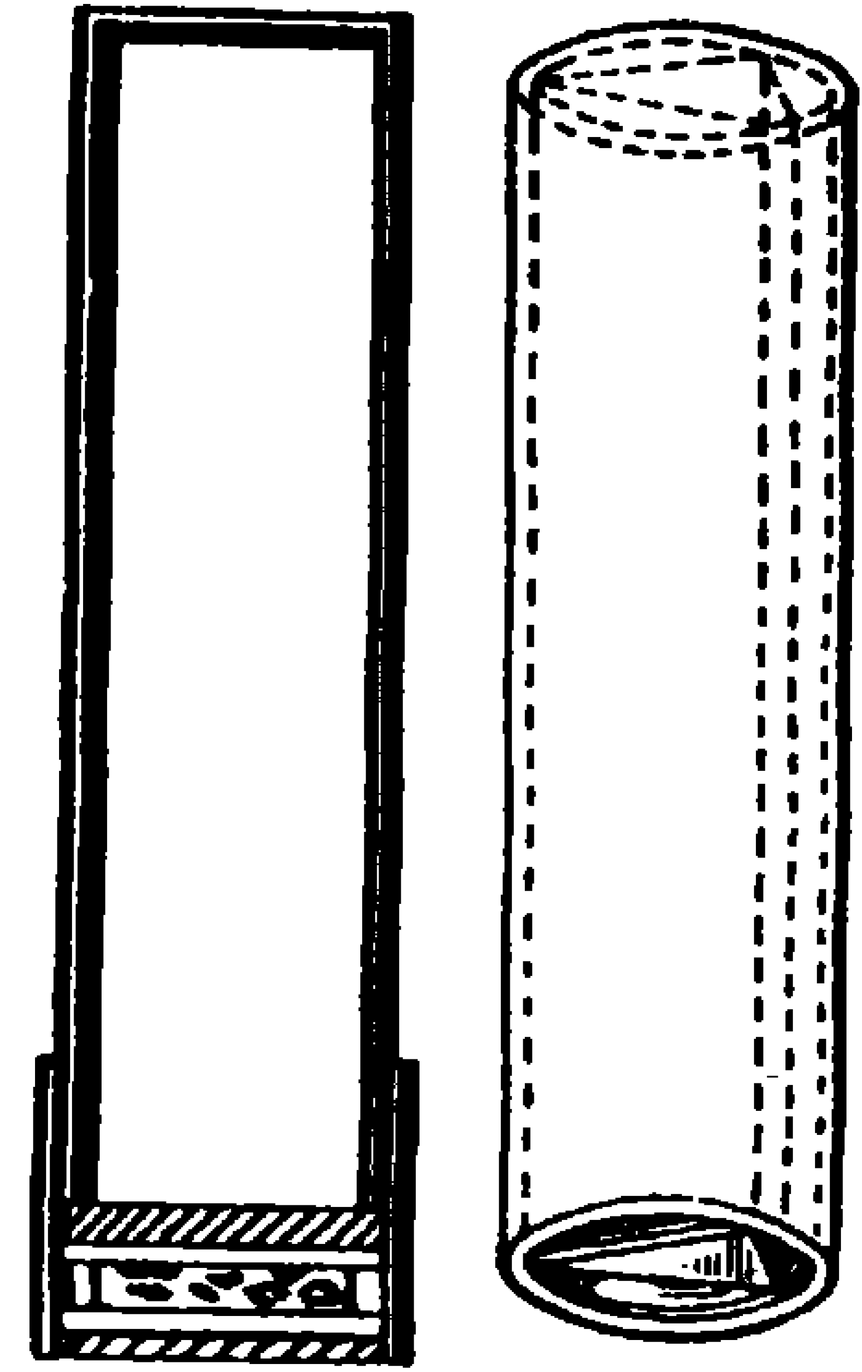
لقد اخترع الكاليدوسكوب فى انجلترا عام ١٨١٦ ، ووصل الى روسيا بعد سنة ونصف من ذلك التاريخ ، حيث قوبل باعجاب شديد . وقد وصفه احد كتاب ذلك



شكل ١٠٤ : حل مسألة الغراب .

العصر بقوله : « يستحيل وصف كل ما تراه في الكاليدوسكوب . ان الاشكال تتغير كلما تتحرك اليد، وهي لاتشبه بعضها البعض . انها زخارف بديعة ! وكم كان رائعا لو استطعنا نسجها من خيوط الحرير ! ولكن كيف نحصل على مثل هذا الحرير اللماع ؟ وستكون هذه العملية مريحة للغاية اذ انها تنقذ الانسان من الضجر وتلهيه .

ويؤكد البعض ، بان الكاليدوسكوب كان معروفا في القرن السابع عشر . ولكنه بعد ذلك ظهر بشكل محسن في انجلترا ، ثم انتقل الى فرنسا . وقد اوصى احد الاثرياء الفرنسيين بصنع كاليدوسكوب بلغ ثمنه ٢٠٠٠٠ فرنك . وقد امر ان توضع في داخله الاحجار الكريمة واللآلئ ، بدل الشظايا الزجاجية الملونة » :



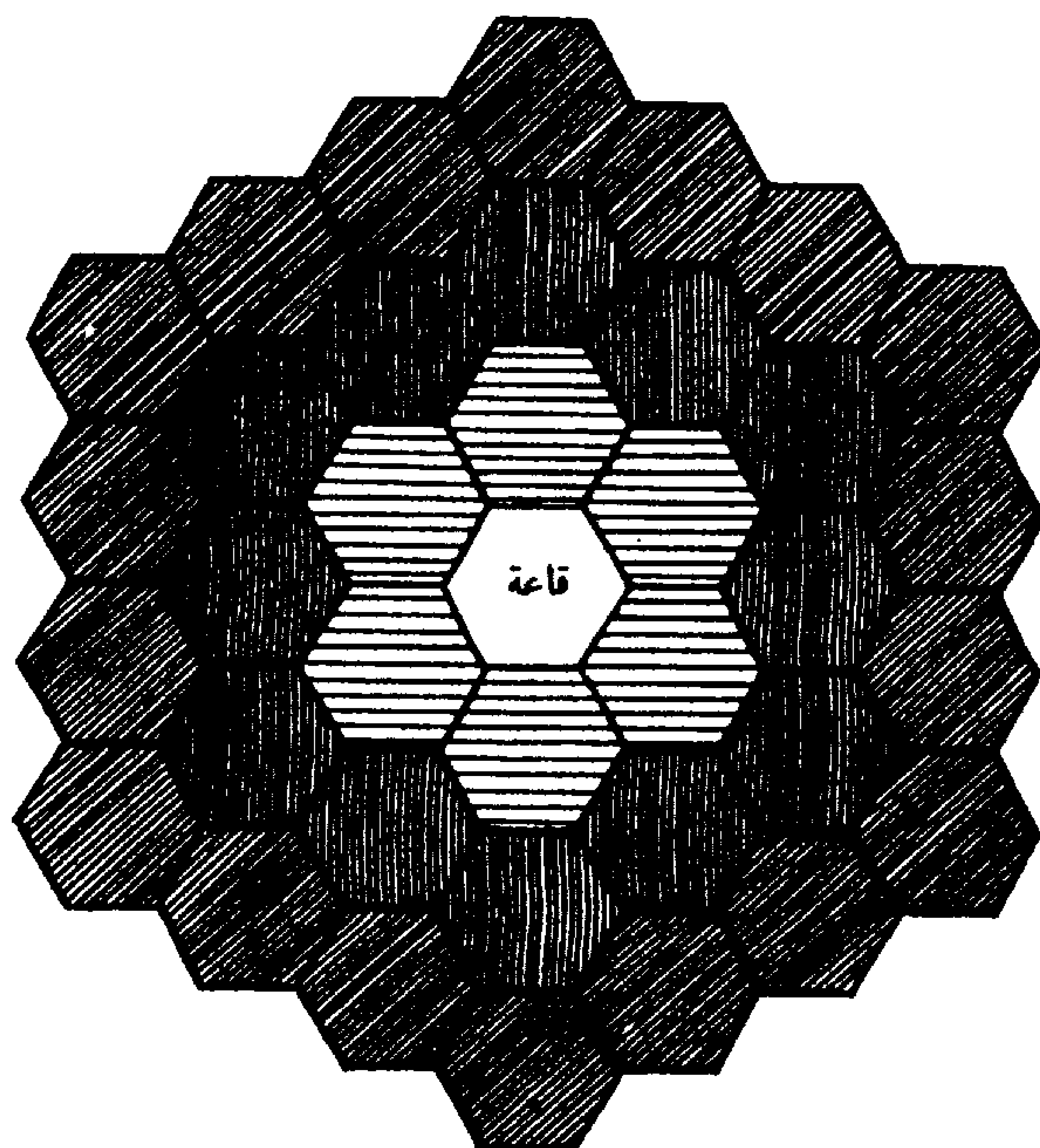
شكل ١٠٥ : الكاليدوسكوب .

ويروى الكاتب بعد ذلك فكاهة مسلية عن الكاليدوسكوب . واخيرا يختتم مقالته بملاحظة ملنخولية ، تعطى طابعا مميزا جدا لعصر الاقطاع والتخلف :

« ان الميكانيكي الامبراطوري روسبيني ، المعروف بآلاته البصرية الرائعة ، يصنع الكاليدوسكوبات ويبيعها بثمن قدره ٢٠ روبلا للكاليدوسكوب الواحد . ولاشك في ان الكثيرين من الناس ، سيفضلون شراء الكاليدوسكوب ، على حضور محاضرات الكيمياء والفيزياء ، التي — مع الاسف والدهشة — لم يربح السيد روسبيني من ورائها اية فائدة لنفسه » .

وقد بقي الكاليدوسكوب مدة طويلة ، لم يعتبر خلالها اكثر من لعبة مسلية ، ولكن في هذه الايام ، بدأوا يستفيدون منه في وضع الزخارف . وقد اخترع جهاز يمكن بواسطته تصوير الزخارف التي تظهر في الكاليدوسكوب ، وبذلك يمكن رسم النقوش بصورة ميكانيكية .

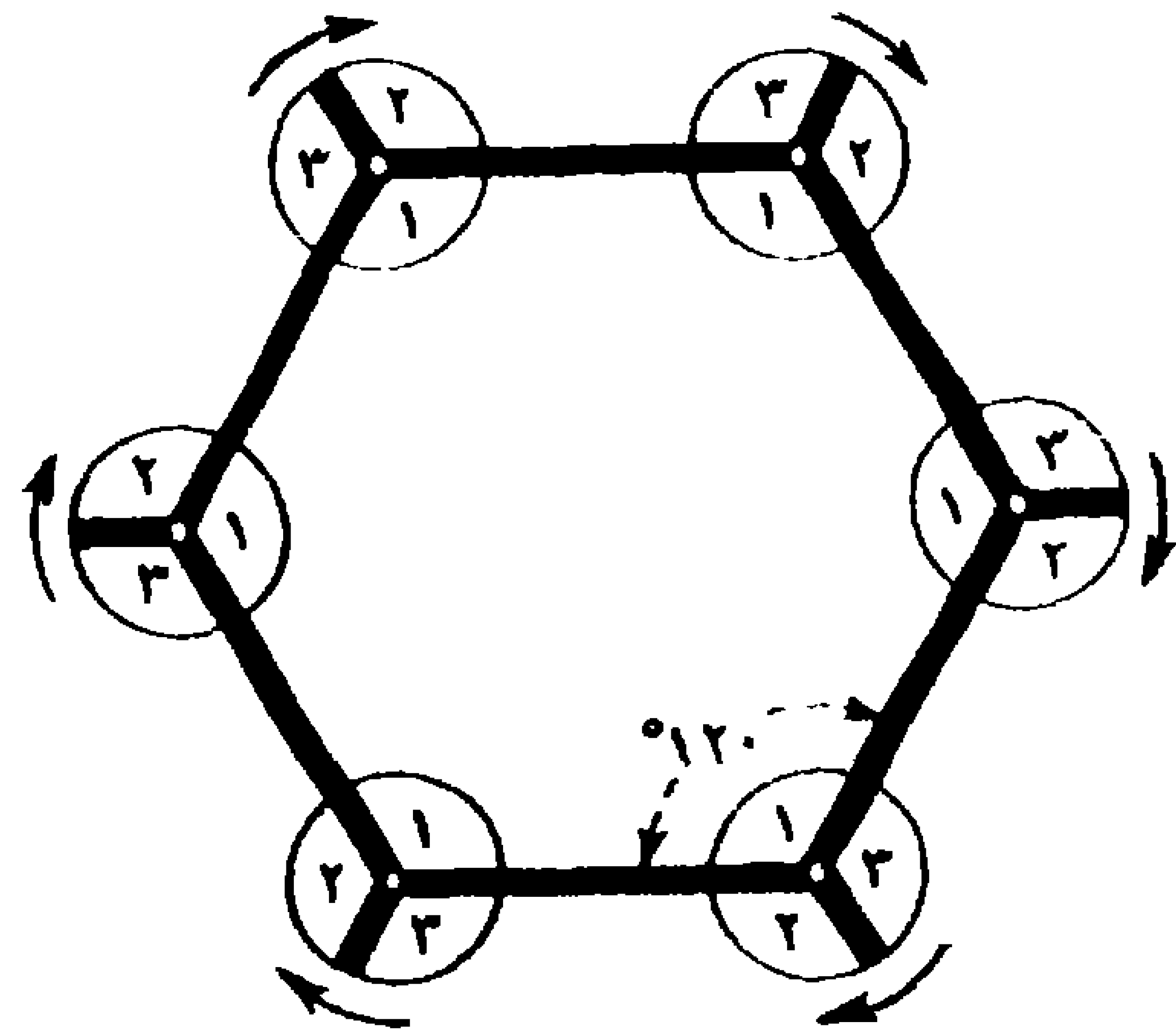
ماذا سيكون شعورنا ، اذا اصبحنا بحجم الشظايا الزجاجية ، ووجدنا انفسنا فى داخل الكاليدوسكوب ؟ هناك طريقة للقيام بذلك فعلا ! وقد اتيحت هذه الفرصة الرائعة ، لزوار معرض باريس الدولى فى عام ١٩٠٠ ، حيث اثارت الاعجاب ، القاعة المسماة بـ « قصر الاوهام » . وهى قاعة شبيهة بالكاليدوسكوب ، ولكنها ثابتة . وكانت القاعة سداسية الشكل ، وكل جدار من جدرانها عبارة عن مرآة ضخمة مثالية الصقل . وقد انشئت فى زوايا قاعة المرايا ، زخارف معمارية على هيئة اعمدة وافاريز ، مدغمة مع السقف . وكان الزائر الذى فى داخل القاعة المذكورة ، يرى نفسه تائها فى حشد لا يمكن تصوره ، من الناس الذين يشبهونه ، وقد احاطوا به من كل الجوانب ، حتى



شكل ١٠٦ : ان الانعكاس الثلاثى بجدران القاعة (الصالة) الرئيسية، يولد ٣٦ قاعة (صالة).

امتلأت بهم القاعات ذات الاعمدة الممتدة على مدى الرؤية ، فى صف ليست له نهاية

ان القاعات المظللة بخطوط افقية (شكل ١٠٦) ، تتكون نتيجة للانعكاس مرة واحدة ، والقاعات المظللة بخطوط عمودية على الخطوط الاولى ، اى القاعات الاثنى عشرة ، تتكون نتيجة للانعكاس مرّتين . وتضاف الى كل ذلك ، ١٨ قاعة اخرى ، تتكون نتيجة للانعكاس ثلاث مرات (مظللة بخطوط مائلة) ، وتتضاعف القاعات مع كل انعكاس ، ويعتمد عددها الكلى على جودة صقل وموازاة المرايا ، الموجودة على الوجوه المتقابلة للقاعة الموشورية . وامكن فى الواقع ، رؤية قاعات اخرى . متكونة نتيجة للانعكاس الثانى عشر ، اى امكن رؤية ٤٦٨ قاعة فقط .



شكل ١٠٧



شكل ١٠٨ : سر « قصر الاوهام » .

ولا بد لكل من تعرّف على قوانين انعكاس الضوء ، ان يعلم سبب الظاهرة المذكورة اعلاه : توجد هناك ثلاثة ازواج من المرايا المتوازية ، وقد وضعت بزاوية ميل معينة ، ولذلك فليس من العجيب ان تعطى عددا كبيرا من الانعكاسات . والاكثر طرافة من ذلك ، هي تلك المؤثرات البصرية ، التى تم التوصل اليها فى معرض باريس ، فى داخل ما يسمى بـ « قصر السراب » . ان مصممى هذا « القصر » اضافوا الى الانعكاسات اللامتناهية ، عاملا آخر ، هو تغيير المنظر برّمته تغييرا سريعا جدا . وبهذا فكأنّهم قد انشأوا كاليدوسكوبا متحركا ضخما ، مع وجود الزّوار فى داخله .

وقد تم تغيير المنظر فى « قصر السراب » ، بالشكل التالى : قصّت المرايا طوليا على مسافة قليلة من الضلع ، ثم جعلت الزاوية الناتجة من ذلك ، تدور على محور ، بحيث يمكن استبدالها بزاوية اخرى . ويتضح من الشكل ١٠٧ ، انه بالامكان القيام بتبديل الزاوية ثلاث مرات ، طبقا للزوايا ١ و٢ و٣ . والآن لنفرض ان كافة الزوايا الموجودة تحت رقم ١ ، تعطى منظر غابة استوائية ، والزوايا الموجودة تحت رقم ٢ ، تعطى منظر قاعة فى قصر عربى ، والزوايا الموجودة تحت رقم ٣ ، تعطى منظر معبد هندى . وبحركة واحدة للآلية المخفية ، التى تقوم بتدوير الزوايا وتغييرها ، يتحول المنظر من غابة استوائية الى معبد هندى ، او الى قصر عربى . ان السر باكمله ، يكمن هنا فى ظاهرة فيزيائية ، بسيطة جدا ، هى انعكاس اشعة الضوء .

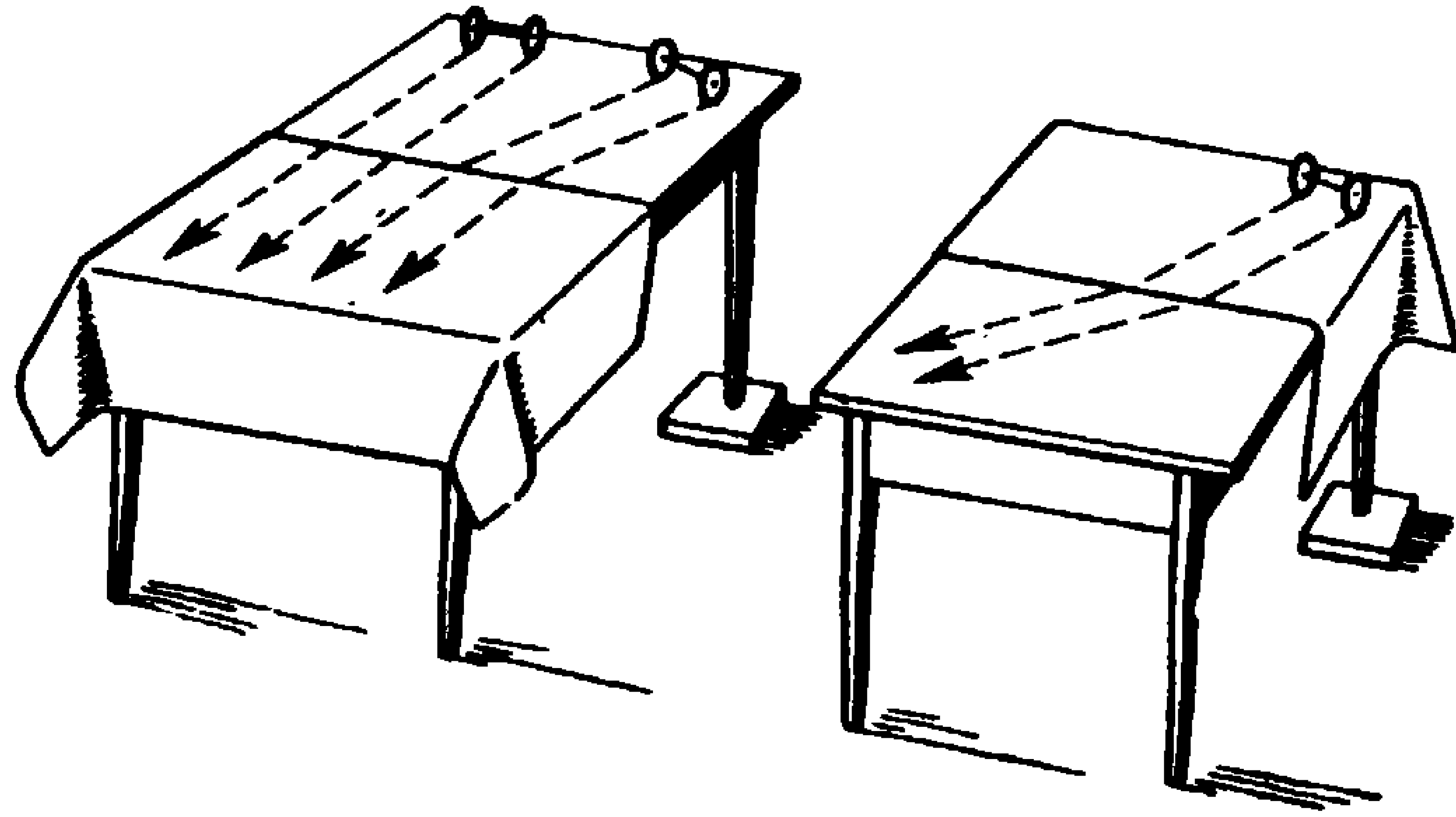
لماذا وكيف ينكسر الضوء؟

ان انكسار الضوء عند انتقاله من وسط الى آخر ، يبدو لكثير من الناس ، بمثابة تقلب غريب من تقلبات الطبيعة . انهم لا يفهمون لماذا لا يحافظ الضوء فى الوسط الجديد ، على اتجاهه المستقيم ، ويختار طريقا منكسرا . اذا كان القارئ من هؤلاء الناس ، فانه سيسر اذا قلنا له ، بان شعاع الضوء يسلك فى الواقع ، نفس سلوك فرقة من الجنود المشاة ، عندما تجتاز الحد الفاصل بين ارض منبسطة واخرى وعرة . واليكم

ما يقوله في هذا الصدد ، العالم الفلكي والفيزيائي الشهير جون جيرشل ، وهو من علماء القرن الماضي .

« لنتصور فرقة من الجنود السائرين على ارض مقسمة الى قسمين بواسطة خط حدود مستقيم ، بحيث يكون القسم الاول منبسطا ومريحا بالنسبة للسير ، والقسم الثاني وعرا ، لا يمكن السير عليه بنفس سرعة السير على القسم الاول . ولنفرض بالاضافة الى ما سبق ، ان مقدمة الفرقة تشكل زاوية مع خط الحدود الموجود بين القسمين ، بحيث لا يصل الجنود كلهم في نفس الوقت الى ذلك الخط ، ولكنهم يصلونه الواحد بعد الآخر على التوالي . وعندئذ ، بعبور كل جندي لخط الحدود ، سيجد نفسه في ارض لا يمكنه السير عليها ، بنفس سرعة سيره على الارض السابقة . وليس في استطاعته بعد الآن السير على خط واحد مع القسم الباقي من الصف ، الموجود على الارض السهلة ، وسوف يتخلف عنه اكثر فاكثر بمرور الوقت . وبما ان كل جندي يصل الحدود ، يشعر بنفس الصعوبة في السير ، واذا فرضنا ان الجنود لا يخلون بنظام الصف ولا يتبعثرون ، بل سيستمرون في سيرهم بطابور منتظم ، فان كل ذلك القسم من الطابور ، الذي اجتاز خط الحدود ، سوف يتخلف حتما عن القسم الباقي ، وبذلك يشكل معه زاوية منفرجة في نقطة تخطي الحدود . وبما ان ضرورة سير الجنود سيرا منتظما ، دون ان يقطع احدهم طريق الآخر ، تحتم على كل منهم ان يخطو الى الامام بزاوية قائمة مع الجبهة الجديدة ، فان الطريق الذي يقطعه عندما يعبر الحدود ، سيكون اولا عموديا على الجبهة الجديدة ، وثانيا لكانت علاقته بذلك الطريق الذي كان سيقطعه في حالة عدم وجود ابطاء ، كعلاقة السرعة الجديدة بالسرعة السابقة .

ونستطيع بصورة مصغرة ، القيام بتجربة توضح انكسار الضوء ، وذلك على المنضدة الموجودة امامنا . نغطي نصف المنضدة بغطاء (شكل ١٠٩) . وبامالة المنضدة قليلا ، ندحرج العجلتين الصغيرتين المربوطتين بمحور واحد (يمكن استخدام عجلات القاطرة الصغيرة التي يلهو بها الاطفال) .



شكل ١٠٩ : تجربة توضح ظاهرة انكسار الضوء .

واذا كان اتجاه حركة العجلتين ، يشكل زاوية قائمة مع حافة الغطاء ، فلا يحدث انكسار في الطريق . ويكون لدينا في هذه الحالة ، شرح عملي لقاعدة بصرية ، وهي : ان الشعاع العمودي على مستوى فصل (تقسيم) الاوساط ، لا ينكسر . وعندما يكون اتجاه الحركة ، مائلا بالنسبة لحافة الغطاء ، فان طريق العجلتين ينكسر عند تلك الحافة ، اي عند الحدود بين الاوساط التي تكون سرعة الحركة فيها مختلفة . ومن السهل ان نلاحظ ، انه عند الانتقال من قسم المنضدة ، الذي تكون سرعة الحركة فيه اكبر (القسم غير المغطى) ، الى القسم الذي تكون السرعة فيه اقل (القسم المغطى) ، يقترب اتجاه الطريق (الشعاع) من « عمود السقوط » . وعندما تكون الحالة على عكس ذلك ، يبتعد اتجاه الطريق عن عمود السقوط .

ويمكننا ان نستمد من ذلك ، دلالة تكشف لنا حقيقة الظاهرة المذكورة وهي ان الانكسار يعتمد على اختلاف سرعة الضوء في كلا الوسطين . فكلما زاد اختلاف السرعة ، كلما زاد الانكسار . ان ما يسمى بـ « دليل الانكسار » ، الذي يبيّن مقدار انكسار الاشعة ، ما هو الا عبارة عن النسبة بين تلك السرع . وعندما نقرأ بان دليل الانكسار عند الانتقال من الهواء الى الماء ، يساوي $\frac{٤}{٣}$، فاننا نعلم بذلك ان سرعة الضوء في الهواء اكبر من سرعته في الماء بمقدار ٣ر١ مرة تقريبا .

وتوجد بهذا الصدد ، خاصية تعليمية اخرى لانتشار الضوء . اذا كان شعاع الضوء عند انعكاسه ، يتبع اقصر الطرق ، فانه عند انكساره ، يختار اسرع الطرق : اذ لا يوجد اى اتجاه آخر ، يؤدى بالشعاع الى المكان المعيّن ، اسرع من ذلك الطريق (الاتجاه) المنكسر .

متى يقطع الطريق الطويل اسرع مما يقطع الطريق القصير ؟

هل من المعقول ان يؤدى الطريق المنكسر ، الى الهدف ، اسرع مما يؤدى اليه الطريق المستقيم ؟ نعم ، ان ذلك ممكن فى الحالات التى تختلف فيها سرعة الحركة فى اقسام الطريق المختلفة . لنتذكر ما يفعله سكان القرية الواقعة بين محطتين من محطات السكة الحديدية ، بالقرب من احداهما . فلكى يصلوا بسرعة الى المحطة البعيدة ، يمتطون الحصان ويسيرون اولا فى الجهة المعاكسة، اى باتجاه المحطة القريبة، ومن هناك يستقلون القطار ويتوجهون الى المحل المطلوب . وبطبيعة الحال ، كان اقصر الطرق بالنسبة اليهم هو الطريق المستقيم الذى يؤدى بهم مباشرة الى ذلك المكان وهم على صهوة الحصان . ولكنهم يفضلون الطريق الاطول ، الذى يقطعونه على صهوة الحصان وفى القطار ، لانه يؤدى بسرعة الى المحل المطلوب .

لنبحث الآن مثالا آخر . يجب على احد الفرسان ان يحمل رسالة من النقطة أ ويوصلها الى مقر القائد ، الواقع فى النقطة جـ (شكل ١١٠) وتفصله عن مقر القائد ارض رملية ومرج ، يوجد بينهما حدّ فاصل هو الخط المستقيم هـ ع . ان الحصان يتحرك فى الارض الرملية ابطأ بمرتين ، مما يتحرك فى المرج . والآن ، ما هو الطريق الذى يجب ان يختاره الفارس ، لكى يوصل الرسالة الى القائد باسرع وقت ممكن ؟

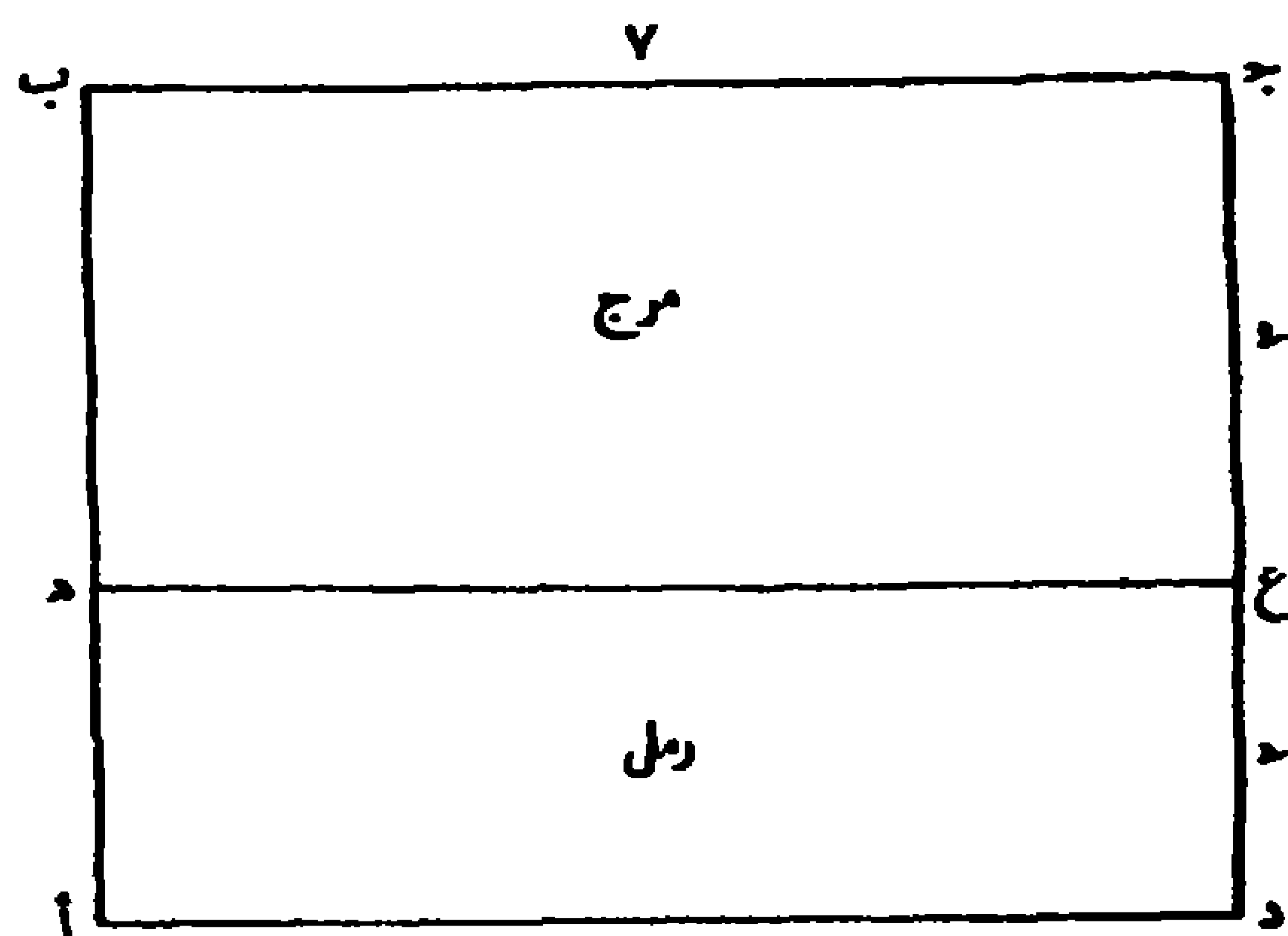
يبدو لاول وهلة ، ان اقصر الطرق ، هو الخط المستقيم الواصل بين النقطتين أ و جـ . ولكن هذا غير صحيح اطلاقا ، ولا اظن ان هناك فارسا يقوم باختيار مثل هذا الطريق . ان الحركة البطيئة فى الرمل ، تحمله على التفكير الصحيح فى اختصار ذلك القسم من الطريق ، الذى يجعله يسير ببطء ، وذلك بقطع الارض الرملية بخط سير

اقل انحرافا ، وبذلك يطول القسم الثانى من الطريق — عبر المرج . ولما كان السير فى المرج اسرع بمرتين من السير على الارض الرملية ، فان طول الطريق لا يفوق فى الاهمية ، الفائدة التى تنجم عن ذلك ، وبالنتيجة ، يتم قطع الطريق باقل فترة زمنية . وبعبارة اخرى ، يجب ان ينكسر طريق الفارس ، عند الحد الفاصل بين الارض الرملية والمرج ، وذلك بحيث تكون الزاوية الحاصلة بين طريق المرج والمستقيم العمودى على خط الحدود ، اكبر من الزاوية الحاصلة بين الطريق الرملى والعمود المذكور .

وباستطاعة من يعرف علم الهندسة المستوية ، وخاصة نظرية فيثاغورس ، التحقق من ان الطريق المستقيم أ جـ ، ليس فى الحقيقة اسرع الطرق ، وانه فى حالة ابعاد الارض والمسافات التى لدينا فى هذا المثال ، يمكن الوصول الى الهدف باسرع ما يمكن ، اذا سلكنا الطريق المنكسر أهـ جـ (شكل ١١١) .

وقد اوضحنا فى الشكل ١١٠ ، ان عرض قطعة الارض الرملية هو ٢ كم ، وعرض المرج ٣ كم ، اما المسافة ب جـ فتساوى ٧ كم . عندئذ يكون طول أجـ كله (شكل ١١١) ، حسب نظرية فيثاغورس ، مساويا لما يلى :

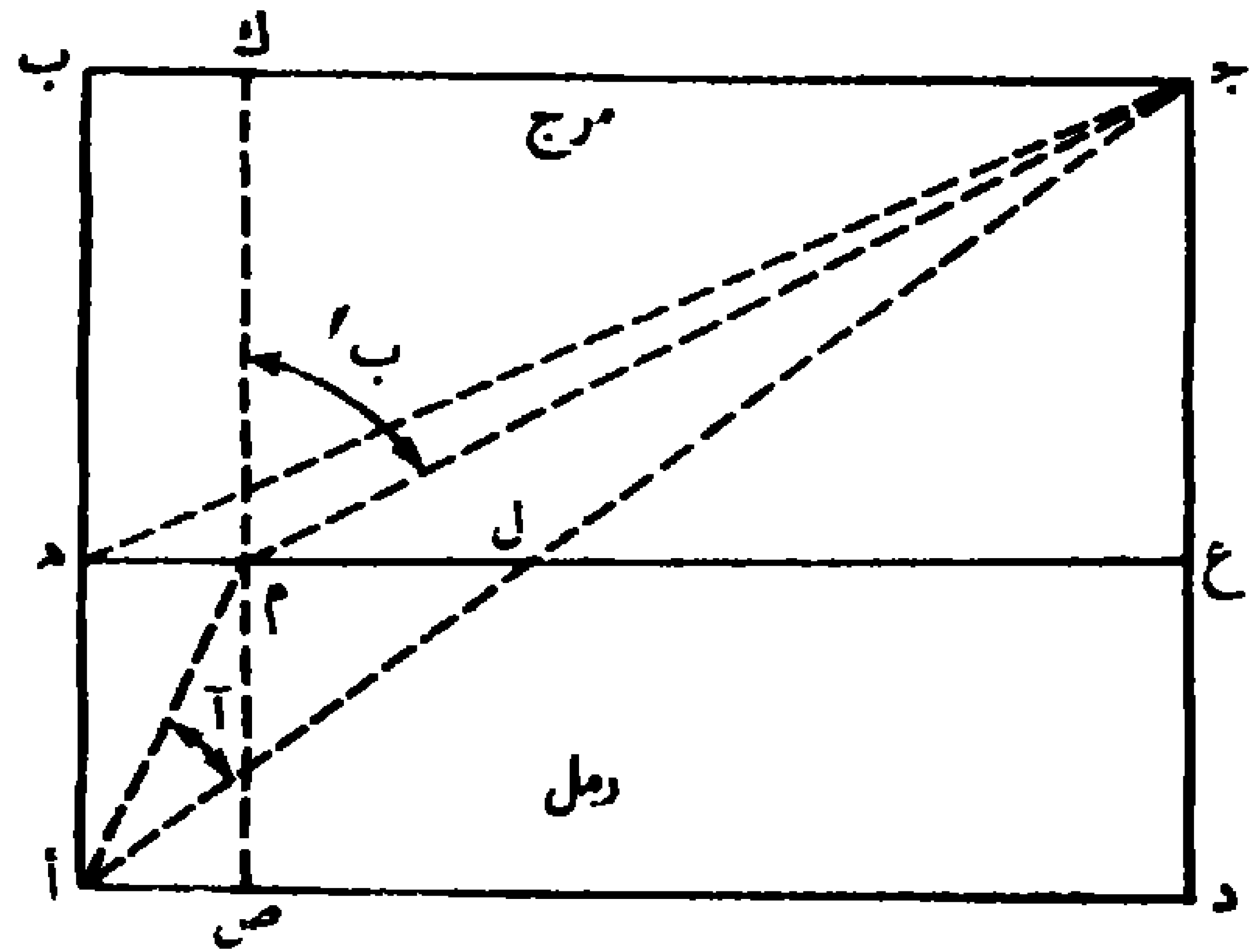
$$\sqrt{٥^٢ + ٧^٢} = \sqrt{٧٤} = ٨,٦٠ \text{ كم}$$



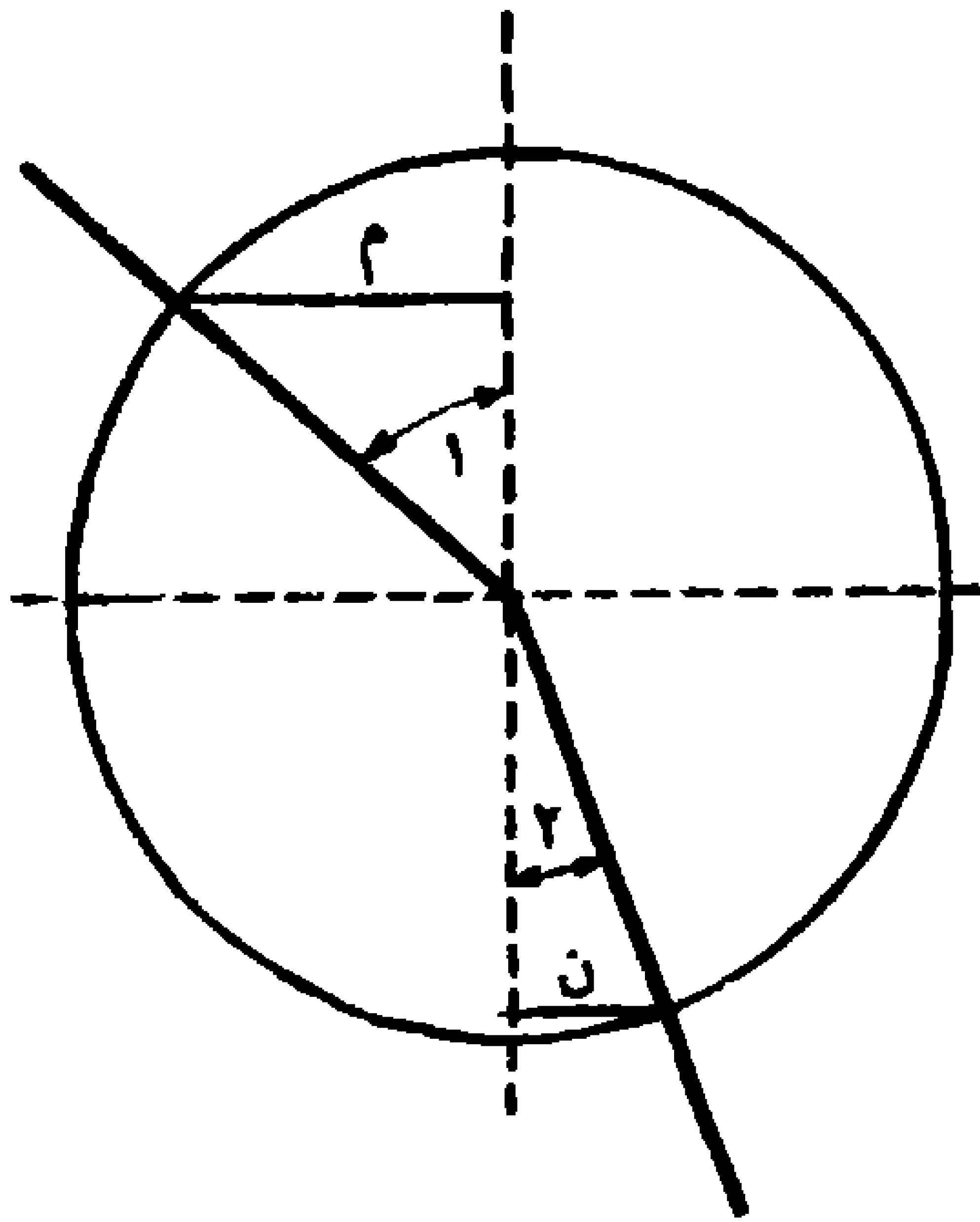
شكل ١١٠ : مسألة الفارس . ايجاد اقصر طريق من أ الى جـ .

اما القسم أل – الطريق الرملي – فيساوى كما يظهر بوضوح $\frac{٢}{٥}$ من قيمة أ جـ ، اى يساوى ٣ر٤٤ كم . ولما كانت الحركة على الرمل ابطأ بمرّتين من الحركة فى المرج، فان مسافة ٣ر٤٤ كم من الطريق الرملي ، تكافئ من حيث الوقت اللازم ، مسافة قدرها ٦ر٨٨ كم من طريق المرج . وبالتالى ، فان طول الطريق المختلط كله ، المقاس بالمستقيم أ جـ ، الذى يبلغ طوله ٨ر٦٠ كم ، يكافئ مسافة قدرها ١٢ر٠٤ كم من طريق المرج .

والآن نقوم بتحويل الطريق المنكسر أ هـ جـ ، الى المقدار الذى يكافئه من طريق المرج . ان القسم اهـ = ٢ كم ، ويكافئ ٤ كم من طريق المرج . والقسم هـ جـ = $\sqrt{٣^٢+٧^٢} = \sqrt{٥٨} = ٧,٦$ كم. ومجموع الطريق المنكسر أ هـ جـ باكمله. يكافئ المقدار ٤ + ٧ر٦ = ١١ر٦ كم .



شكل ١١١ : حل مسألة الفارس . ان اقصر طريق هو أ م جـ .



شكل ١١٢ : ما هو جيب الزاوية ؟ ان النسبة بين م ونصف القطر ، تمثل جيب الزاوية (١) ، والنسبة بين ن ونصف القطر ، تمثل جيب الزاوية (٢) .

وهكذا ، فان الطريق المستقيم « القصير » ، يكافئ مسافة ١٢ كم ، تقطع على طريق المرج ، والطريق المنكسر « الطويل » ، يكافئ مسافة ١١٫٦ كم فقط : من نفس طريق المرج . وكما يتضح مما سبق ، فان الطريق « الطويل » يختصر لنا مسافة قدرها ١٢ — ١١٫٦ = ٠٫٤ كم ! ولكننا لم نشر بعد الى اسرع الطرق .
ان اسرع الطرق ، كما جاء في النظرية ، هو ذلك الطريق (سنلجأ هنا الى علم حساب المثلثات) الذى تكون نسبة جيب الزاوية ب الى جيب الزاوية آ ، عنده ، كنسبة السرعة على طريق المرج الى السرعة على الطريق الرملى ، اى كنسبة ٢ : ١ . وبعبارة اخرى ، يجب اختيار الاتجاه ، بحيث يكون جيب الزاوية ب ، اكبر من جيب الزاوية آ بمرتين . ولاجل ذلك ، يجب اجتياز الحد الفاصل بين قطعتى الارض فى نقطة مثل م ، تقع على مسافة ١ كم من النقطة هـ . عندئذ يكون بالفعل :

$$\text{جا ب}' = \frac{٦}{\sqrt{٣^٢ + ٦^٢}} \text{ ، وجا آ} = \frac{١}{\sqrt{١ + ٢^٢}}$$

وتكون النسبة بينهما كما يلى :

$$\frac{\text{جا ب}'}{\text{جا آ}} = \frac{٦}{\sqrt{٤٥}} : \frac{١}{\sqrt{٥}} = \frac{٦}{٣\sqrt{٥}} : \frac{١}{\sqrt{٥}} = ٢$$

اى مثل النسبة بين السرعتين بالضبط .

والآن ما هو طول الطريق فى هذه الحالة ، بعد تحويله الى ما يكافئه من طريق المرج ؟ ان طول أ م = $\sqrt{٢^٢ + ١^٢}$ ، وهذا المقدار يكافئ مسافة ٤٫٤٧ كم من طريق المرج . م جـ = $\sqrt{٣^٢ + ٦^٢}$ = ٦٫٤٩ كم . وطول الطريق باكمله يساوى ٤٫٤٧ + ٦٫٤٩ = ١٠٫٩٦ اى اقصر من الطريق المستقيم ، الذى يبلغ طوله ١٢٫٠٤ كم ، بمقدار ١٫٠٨ كم .

وهكذا تتضح الفائدة التى نجنيها فى مثل هذه الظروف ، نتيجة لانكسار الطريق . وشعاع الضوء ، يختار بالضبط مثل هذا الطريق السريع لان قانون انكسار الضوء ، يحقق

متطلبات الحل الرياضي للمسألة تحقيقا تاما : ان النسبة بين جيب زاوية الانكسار وجيب زاوية السقوط ، مثل النسبة بين سرعة الضوء في الوسط الجديد ، وسرعته في الوسط الذي خرج منه ؛ ومن ناحية اخرى ، فان هذه النسبة تساوي دليل انكسار الضوء في الوسطين المذكورين .

واذا جمعنا بين كل من خواص الانعكاس وخواص الانكسار ، وصغناها في قاعدة واحدة ، لتمكنا من القول بان شعاع الضوء يسلك في كافة الحالات ، اسرع الطرق ، اي يخضع للقاعدة التي يسميها الفيزيائيون بـ « قاعدة اسرع وصول » وهي (قاعدة فيرم) .

واذا كان الوسط غير متجانس ، وله قابلية كسر متغيرة تدريجيا : مثلا كالجوّ الذي نعيش فيه ، ففي مثل هذه الحالة يحدث اسرع وصول تماما . وهذا يفسر لنا سبب ذلك الانحناء البسيط لاشعة الضوء المنبعثة من النجوم ، عند مرورها في جو الارض ، ويطلق الفلكيون على هذه الظاهرة اسم « الانكسار الجوّي » . وفي طبقات الجو ، التي تزداد كثافتها تدريجيا كلما اقتربنا من سطح الارض ، ينحني شعاع الضوء ، بحيث يتجه تقعّره نحو سطح الارض . ويبقى شعاع الضوء عندئذ : مدة اطول في الطبقات العليا ، التي تعرقل حركته بشكل ضئيل ، ويقضي مدة اقل في الطبقات الواطئة « البطيئة » . واخيرا ، يصل الى هدفه ، اسرع من وصوله اليه ، فيما لو سلك الطريق المستقيم تماما .

ان قاعدة اسرع وصول (قاعدة فيرم) ، لا تنطبق على الضوء وحده فقط ، بل كذلك تنطبق تماما على انتشار الصوت ، وبصورة عامة على كافة الحركات الموجية ، مهما كانت طبيعة تلك الموجات .

ان القارئ يرغب بلاشك ، في ان يعرف ما هوتفسير خاصية الحركات الموجية هذه . ولذلك اقدم هنا بعض ما قاله بهذا الخصوص ، العالم الفيزيائي المعاصر شريدنجر *.

* من التقرير الذي قرأه في مدينة ستوكهولم ، عند تسلمه جائزة نوبل عام ١٩٣٣ .

وينطلق في ذلك من المثال المعروف لدينا حول سير جنود المشاة ، ويقصد به حالة مرور شعاع الضوء ، في وسط تتغيّر كثافته بالتدريج . يقول شريدنجر :

« لنفرض انه لاجل المحافظة على خط انتظام الجبهة المضبوط ، تم وصل الجنود بعمود طويل ، يمسك به كل جندي بقوة . وامر الجنود بالركض باسرع ما يمكن ! فاذا كانت طبيعة الارض تتغير بالتدريج ، من نقطة الى اخرى ، ففي بادئ الامر سيتحرك الجناح الايمن مثلا اسرع من الجناح الايسر ، وبعد ذلك سيتحرك الجناح الايسر اسرع من الجناح الايمن ، وبذلك سيتحول خط انتظام الجبهة عن وضعيته السابقة ، من تلقاء نفسه . ونلاحظ عند ذلك ، ان الطريق الذي قطعه الجنود ، ليس مستقيما بل منحنيا . ومن المفهوم ان هذا الطريق ينطبق تماما مع اقصر طريق ، من حيث الزمن اللازم للوصول الى النقطة المعينة عند وجود خواص الارض المذكورة اعلاه ، وذلك لان كل جندي قد حاول جهده ان يركض باسرع ما يمكن » .

الشمس تشعل النار

لا شك في ان القارئ يعرف كيف استطاع ابطال قصة جول فيرن « الجزيرة الغامضة » اثناء وجودهم على جزيرة غير مأهولة ، ان يشعلوا النار بدون عيدان ثقاب او زناد . ان الصاعقة التي احرقت الشجرة ، ساعدت قبل ذلك الرحالة روبنسن كروزو على اشعال النار ، اما روبنسن كروزو الحديث في رواية جول فيرن ، فلم تساعده الصدفة ، بل ساعده دهاء المهندس الخبير ومعرفته الجيدة لقوانين الفيزياء . ولعل القارئ يتذكر كيف دهش البحار الساذج بينكروف ، عندما عاد من الصيد ورأى المهندس والصحفي وقد جلسا امام نار مشبوبة ، وقال متسائلا :

« — من اشعل النار ؟

فاجابه سيليت :

— الشمس .

ولم يمزح الصحفي ، فالشمس بالفعل هي التي اشعلت النار ، التي ادهشت البحار . انه لم يكد يصدق ما رآه بأم عينيه ، اذ اصابته الدهشة الى درجة لم يستطع معها ان يستوضح من المهندس جليّة الامر . وسأل جيربرت المهندس قائلا :

ـ هل يعني ذلك ان بحوزتكم عدسة حارقة ؟

فاجابه المهندس :

ـ لا ، ولكنني اعددتها .

ثم اراه كيف فعل ذلك . كان هذا عبارة عن زجاجتين نزعهما المهندس من ساعته وساعة صديقه سبيليت . ثم لحمهما مع بعض من محيطيهما بواسطة الطين ، بعد ان ملأهما بالماء ، وبهذا الشكل تكونت لديه عدسة حارقة حقيقية ، تمكن بواسطتها من اشعال النار ، وذلك بتركيز اشعة الشمس على رقعة صغيرة من الطحلب اليابس ؛ الامر الذي أدى الى اشتعاله بسرعة » .

واعتقد ان القارئ يريد ان يعلم لماذا يجب ملء الفراغ الموجود بين زجاجتي الساعتين ، بالماء ، وهل ان العدسة المحدبة الوجهين ، المملوءة بالهواء ،لا تركز اشعة الشمس ؟

ان الجواب هو بالضبط لا . ان زجاجة الساعة محاطة بسطحين (متحدى المركز) متوازيين ـ خارجي وداخلي . ومعروف من الفيزياء ، ان الاشعة عند مرورها بوسط محاط بمثل هذين السطحين ، فانها لا تغيّر اتجاهها تقريبا . ثم بمرورها خلال الزجاجة الاخرى المشابهة للاولى ، فانها هنا ايضا لا تنحرف ،وبالتالى لا تتجمع في البؤرة . ولكي نركز الاشعة في نقطة واحدة ، لا بد من ملء الفراغ الموجود بين الزجاجتين ، باحدى المواد الشفافة ،التي تكسر الاشعة ، اشد مما يكسرها الهواء . وهكذا فعل المهندس في قصة جول فيرن .

ان الدورق الزجاجي المملوء بالماء ، اذا كان شكله كرويا ، يمكن ايضا ان يستخدم بمثابة عدسة حارقة . وقد عرف ذلك اسلافنا القدماء ، الذين لاحظوا ايضا

ان الماء عند ذلك يبقى باردا . وقد حدث ان تسبب دو رق الماء الزجاجي، الموضوع على النافذة المفتوحة ، في حرق الستائر او غطاء السفرة او سطح المنضدة .

ان تلك القناني الزجاجية الكروية الضخمة ، المملوءة بالماء الملون ، والتي كانت توضع سابقا في واجهات الصيدليات لتزيينها ، كادت تكون في بعض الاحيان ، سببا لكوارث حقيقية ، لانها تؤدي الى احتراق المواد القابلة للاشتعال ، الموجودة بالقرب منها .

ويمكن بواسطة دورق زجاجي كروي صغير الحجم ، مملوء بالماء ، ان نجعل الماء المصبوب على زجاجة الساعة ، يبدأ بالغليان : وللقيام بذلك نحتاج فقط الى دورق زجاجي كروي قطره ١٢ سم . وعندما يبلغ البعد البؤري ١٥ سم (تكون البؤرة عندئذ قريبة جدا من الدورق) ، تصل درجة الحرارة الناتجة ، الى ١٢٠° مئوية . ويمكن بسهولة اشعال السيجارة بواسطة دورق الماء ، مثل اشعالها بواسطة العدسة الحارقة .

ولكن تجدر الاشارة الى ان الحرق بواسطة العدسات المائية ، اضعف بكثير من الحرق بواسطة العدسات الزجاجية . وهذا يعود الى سب ن ، الاول هو ان انكسار الشعاع في الماء ، اقل بكثير من انكساره في الزجاج ؛ والسبب الثاني ، هو ان الماء يمتّص الى درجة كبيرة ، الاشعة دون الحمراء ، التي تلعب دورا هاما في تسخين الاجسام .

ومن الطريف ، ان الحرق بواسطة العدسات الحارقة ، كان معروفا لدى قدماء الاغريق ، قبل اختراع النظارات والمناظير باكثر من الف سنة . وقد جاء ذكر العدسات الحارقة على لسان اريستوفان الاغريقي في مسرحيته الهزلية المشهورة « الغماء » . يعرض الفيلسوف سقراط المسألة التالية على ستريبتياد :

« اذا كتب شخص سندا ، يلزمك بموجبه بدفع خمس وزنات من الذهب ، فكيف تستطيع التخلص منه ؟

ستريبتياد — لقد وجدت طريقة للتخلص من ذلك السند ، وهي طريقة ستجعلك تعترف بانها بارعة جدا ! لقد رأيت بالطبع ، في الصيدليات ، حجر شفاف رائع يشعلون بواسطته النار ؟

سقراط — العدسة الحارقة ؟

ستريبتياد — نعم بالضبط .
سقراط — وماذا بعد ؟
ستريبتياد — عندما يكون كاتب السندات منهمكا فى الكتابة ، سأقف وراءه وأوجّه اشعة الشمس نحو السند .. واجعله يذوب برمتّه .. » .

وبهذه المناسبة نذكّر القارئ ، بأن الاغريق فى عهد اريستوفان ، كانوا يكتبون على الواح رقيقة مدهونة بالشمع ، تذوب بسهولة عند تعرضها للحرارة .

اشعال النار بواسطة الجليد

ان الجليد عندما يكون شفافا ، يمكن ان يستخدم لصنع العدسات المحدبة الوجهين، وبالتالى لاشعال النار. وفى هذه الحالة، عندما يقوم الجليد بكسر اشعة، الشمس ، فانه لا يسخن بالذات ولا يذوب. ان دليل الانكسار فى الجليد، اقل بقليل من دليل الانكسار فى الماء ، واذا امكن كما رأينا سابقا ، اشعال النار بواسطة كرة زجاجية مملوءة بالماء . يمكننا اذن ان نفعل ذلك بواسطة عدسة حارقة من الجليد . فقد ساعدت العدسة الجليدية الحارقة الدكتور كلاوبونى — فى قصة جول فيرن « رحلات الكابتن هاتيراس » — على اشعال النار ، عندما فقد السياح الزناد ، ووجدوا انفسهم بلا نار ، فى جو قارص البرد حيث بلغت درجة الحرارة —٤٨° مئوية .

« قال هاتيراس مخاطبا الدكتور :
— انها نكبة .
فاجابه الدكتور :
— نعم
— ولا يوجد لدينا حتى انبوب بصرى ، لكى نخلع عدسته ونشعل بواسطتها النار .
فاجابه الدكتور :

ـ اعرف ذلك ، وانا متأسف جدا لهذا الامر ، اذ ان اشعة الشمس قوية ، بما فيه الكفاية لاشعال الصوفان * .

فرد هاتيراس قائلا :

ـ سنضطر الى اكل لحم الدب النيء للتغلب على الجوع ؟

فقال الدكتور متأملا :

ـ نعم ، عند الحاجة القصوى . ولكن لماذا لا ...



شكل ١١٣ : « ركز الدكتور اشعة الشمس على الصوفان » .

* الصوفان مادة اسفنجية تستخدم فى الجراحة ولاخراج النار من حجر القدح (المعرب)

فأستدرجه هاتيراس قائلا :

ـ ماذا خطر ببالك ؟

ـ لقد اتتنى فكرة ..

فهتف رئيس النوتية متعجبا :

ـ فكرة؟ .. اذا اتتك فكرة ، فذلك يعنى انك ستنقذنا !

فاجابه الدكتور مترددا :

ـ لست ادرى الى اى مدى ستتحقق فكرتى .

فسأله هاتيراس :

ـ وما هى فكرتك ؟

ـ اننا لا نملك عدسة ، ولكننا سوف نصنعها الآن .

فسأله رئيس النوتية بفضول :

ـ وكيف سنفعل ذلك ؟

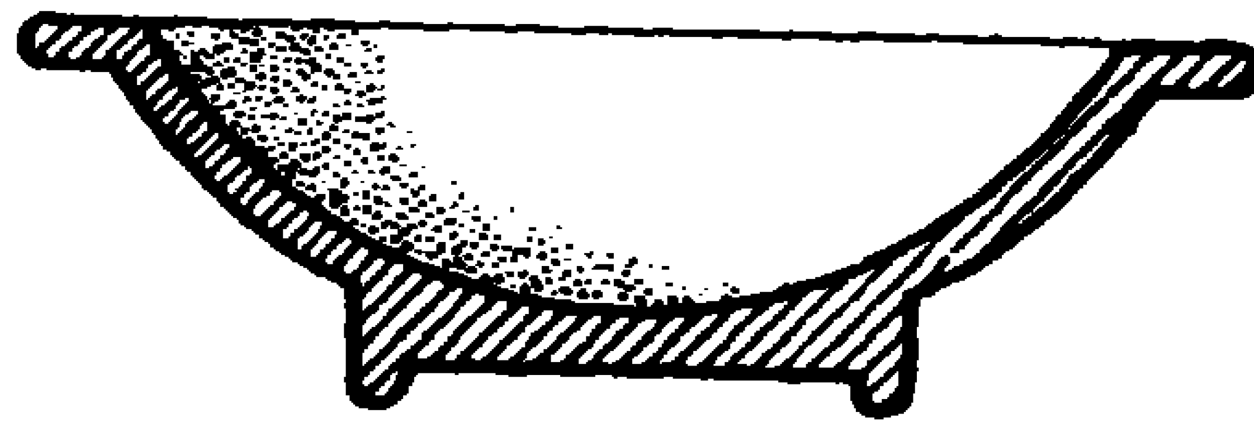
ـ سوف ننحتها من قطعة من الجليد .

ـ وهل تعتقد ان ...

ـ ولم لا ؟ فكل ما نحتاجه هو تجميع اشعة الشمس فى نقطة واحدة ، ولاجل ذلك ، يمكن الاستعاضة عن البلّور بالجليد . ولكننى افضل قطعة الجليد المكونة من الماء العذب ، لانها اقوى واكثر صفاء .

وهنا قال رئيس النوتية وهو يشير الى كتلة جليدية تقع على بعد مائة خطوة منهم :

ـ ان هذه الكتلة الجليدية ، اذا لم اكن مخطئا ، هى التى تفى بحاجتك بالضبط ، وذلك حسبما يظهر من لونها .



شكل ١١٤ : فنجان يستخدم لصنع العدسات الجليدية .

ـ انت على حق ، تناول فأسك . هيا معي ايها الاصدقاء .

وتوجه الرجال الثلاثة الى الكتلة الجليدية المشار اليها . وقد ظهر بالفعل ، ان الجليد مكون من الماء العذب .

واوصى الدكتور باقتطاع قطعة من الجليد ، يبلغ قطرها قدما واحدا ، ثم بدأ يهذّبها بالفأس . وبعد ذلك سوّاها بالسكين ، واخيرا صقلها تدريجيا باليد . وتكونت لديه عدسة شفافة ، كأنّها مصنوعة من انقى البلّور . وكانت الشمس ساطعة تماما ، عندما عرض الدكتور عدسته لاشعتها ، وركزّها على الصوفان . وبعد عدة ثوان ، اشتعلت النار في الاخير » .

ان قصة جول فيرن هذه ، ليست خيالية بصورة تامة ، اذ ان تجربة اشعال النار في الخشب ، بواسطة عدسة من الجليد ، تّمت لاول مرة بنجاح في انكلترا ، وذلك باستخدام عدسة كبيرة جدا في عام ١٧٦٣ . وبعد ذلك ، أخذت تعاد التجربة باستمرار وبنجاح تام . وبالطبع ، من الصعب صنع عدسة شفافة من الجليد ، باستخدام مثل هذه الادوات ، كالفأس والسكين واليد (عند درجة حرارة تصل الى ٤٨ ° تحت الصفر) ، ولكن يمكن صنع عدسة من الجليد بطريقة اسهل : نصب الماء في قدح له نفس شكل العدسة المطلوبة ، ثم نجمده ، ونسخن القدح قليلا ، ونخرج منه العدسة الجاهزة .

المساعدة الناجمة عن اشعة الشمس

يمكن بمساعدة اشعة الشمس ، القيام بتجربة اخرى سهلة الانجاز ، في البلاد التي يوجد فيها ثلج في الشتاء . نأخذ قطعتين متساويتين من القماش ، احداهما بيضاء والاخرى سوداء ، ونضعهما على الثلج الموجود تحت الشمس . واذا عدنا بعد ساعة او ساعتين ، فسنرى ان القطعة السوداء قد غاطت في الثلج ، بينما بقيت القطعة البيضاء على نفس المستوى السابق . ان البحث عن اسباب هذا الاختلاف ليس صعبا :

ان الثلج الموجود تحت القطعة السوداء ، يذوب بسرعة اكبر ، وذلك لان القماش الاسود يمتص القسم الاكبر من اشعة الشمس الساقطة عليه . اما القطعة البيضاء ، فعلى

عكس ذلك ، تشتت اشعة الشمس . ولهذا تسخن بدرجة اقل من سخونة القطعة السوداء . ان اول من قام باجراء هذه التجربة التعليمية ، هو المناضل البارز في حركة استقلال الولايات المتحدة الامريكية ، بنيامين فرانكلين ، الذى خلّد نفسه كفيزيائي ، باختراعه لموّصل الصواعق . وقد كتب حول ذلك ما يلي :

« لقد أخذت من الخياط عدة قطع مربعة من الجوخ ، بالوان متنوعة ، منها . الاسود والازرق الداكن والازرق الفاتح والاخضر والارجواني والاحمر والابيض ، والوان اخرى متنوعة . وفي احد الايام الساطعة ، وضعت جميع هذه القطع على الثلج . وبعد عدة ساعات ، رأيت ان القطعة السوداء ، التي سخنت اكثر من البقية ، قد غاطت عميقا في الثلج بحيث لم تعد تصلها اشعة الشمس ، وقد غاطت القطعة الزرقاء الداكنة الى نفس عمق القطعة السوداء تقريبا ، اما القطعة الزرقاء الفاتحة ، فقد غاطت الى عمق يقل كثيرا عما سبق . اما القطع الباقية ، فقد غاطت الى اعماق ، تقل كلما كان اللون فاتحا اكثر . اما القطعة البيضاء فقد بقيت على السطح ، اى لم تغط مطلقا » . ثم يستمر في حديثه وهو يتساءل بعجب :

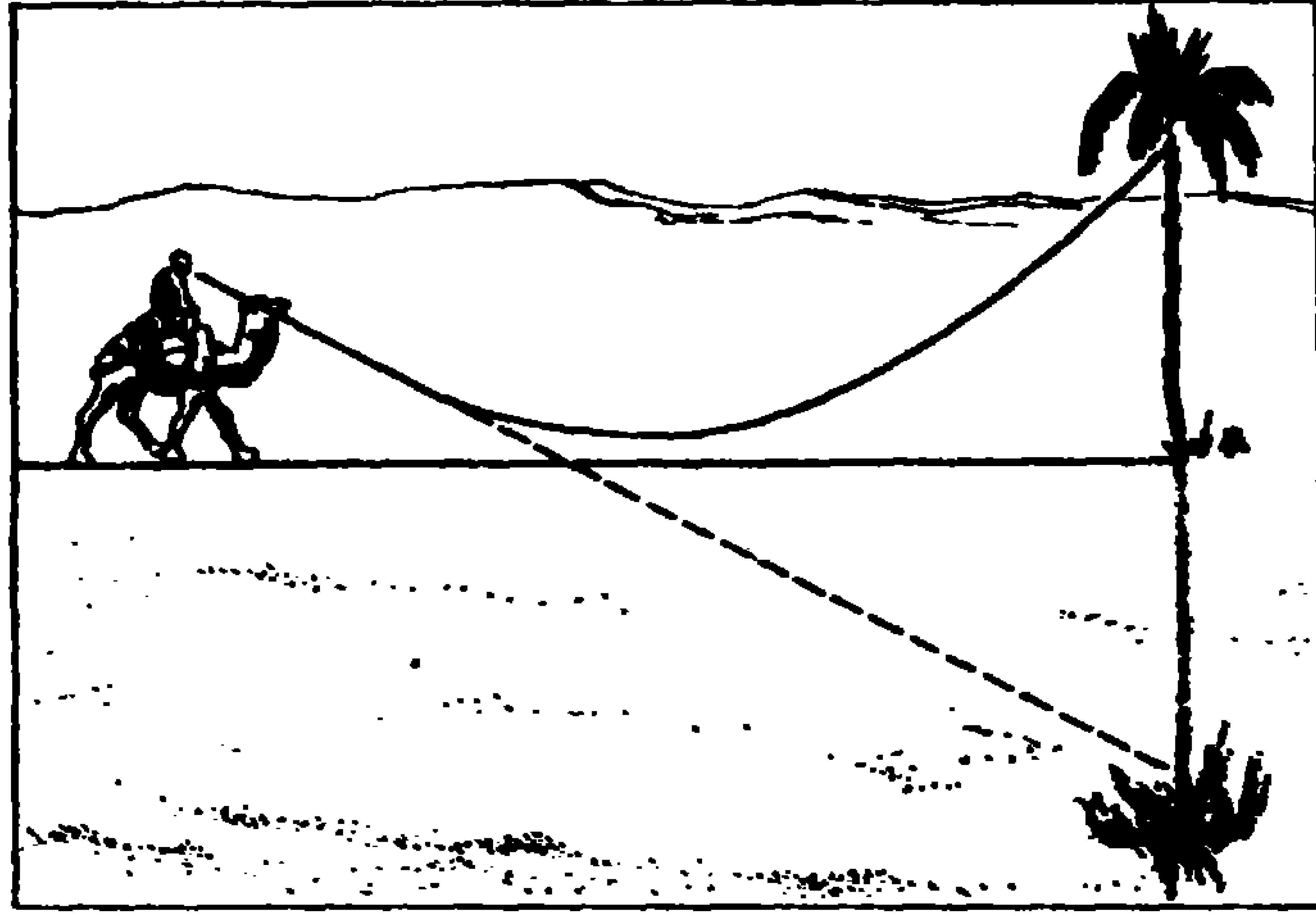
« ما الفائدة من النظرية ، اذا لم نستطع الاستفادة منها عمليا ؟ وهل اننا لا نستطيع ان نستنتج من هذه التجربة ، ان الثوب الاسود اقل ملاءمة لنا ، من الثوب الابيض . في الجو المشمس الدافئ . وذلك لانه يسخن اجسامنا في الشمس ، اكثر مما يسخنها الثوب الابيض ؟ واذا كنا عند ذلك سنقوم ببعض الحركات التي تسخن اجسامنا بالذات ، فعندئذ تتولد حرارة زائدة . الا يجب ان تكون القبعات الرجالية والنسائية الصيفية ، بيضاء اللون ، لكي تبعد ذلك الحر ، الذى يسبب لبعض الناس ، الاصابة بضربة الشمس ؟... وبالاضافة الى ذلك ، الا يمكن للجدران السوداء خلال النهار ، ان تمتص كمية من حرارة الشمس ، بحيث تحتفظ ليلا بقسم منها ، وتبقى دافئة نوعا ما لتحفظ الفواكه من البرد ؟ الا يستطيع المراقب الدقيق ، ان يستنتج او يجد بعض الحالات الاخرى ، التي يمكن الاستفادة منها كثيرا او قليلا ؟ » .

اما هذه الاستنتاجات والفوائد ، فقد اتضحت خلال البعثة الالمانية الى القطب الجنوبي ، على ظهر السفينة « هاوس » عام ١٩٠٣ . لقد انحصرت السفينة في الجليد ولم تفلح كافة المحاولات التي بذلت لاخراجها من هناك . اما المواد المتفجرة والمناشير التي استخدمت في العملية ، فلم تبعد سوى عدة مئات من الامتار المكعبة من الجليد ، ولم تخلّص السفينة من المأزق . عندئذ لجأ افراد البعثة الى استخدام اشعة الشمس : وضعوا على الجليد شريطا من الرماد والفحم الحجري ، طوله ٢ كم وعرضه عشرة امتار ، يمتد من السفينة الى اقرب شق عريض في الجليد . حدث ذلك في ايام الصيف المشمسة الطويلة عند القطب ، حيث قامت اشعة الشمس بعمل لم تقم به المتفجرات والمناشير . لقد ذاب الجليد ، وتحطم على امتداد الشريط المذكور ، وبذلك تحررت السفينة من الجليد الذي كان يحصرها .

السراب

ربما يعرف كافة القراء ، كيف يمكن تعليل نشوء السراب العادي من الناحية الفيزيائية . ان رمل الصحراء المتوهج بتأثير القيظ ، يكتسب نفس خواص المرآة ، لان كثافة طبقة الهواء الساخنة القريبة منه ، اقل من كثافة الطبقات العليا . وعند وصول شعاع الضوء المنبعث من احد الاجسام البعيدة ، الى هذه الطبقة من الهواء ، يتقوس في داخلها . بحيث يبتعد بعد ذلك عن سطح الارض ويصل الى عين المسافر ، وكأنه منعكس على سطح مرآة بزاوية سقوط كبيرة جدا . ويبدو عندئذ للمسافر ، انه يرى امامه سطح الماء الهادئ وقد امتد في الصحراء ، فانعكست على صفحته صور الاجسام الموجودة على الشاطئ (شكل ١١٥) .

وبالمناسبة ، كان من الاصح ان نقول بان طبقة الهواء الساخنة ، الموجودة بالقرب من الرمل المتوهج ، لا تعكس الاشعة مثلما تعكسها المرآة ، ولكن مثلما يعكسها سطح الماء ، عندما تنظر اليه من الاعماق . ان ما يحدث في هذه الحالة ، ليس مجرد انعكاس ، انما يحدث ما يسمى بلغة الفيزياء بـ « الانعكاس الكلّي » . ولكي يحدث هذا



شكل ١١٥ : كيف ينشأ السراب فى الصحراء ؟ ان هذا الشكل الذى يطالعنا عادة فى الكتب المدرسية ، يبين بصورة مبالغ فيها ، طريق شعاع الضوء المائل على الارض .

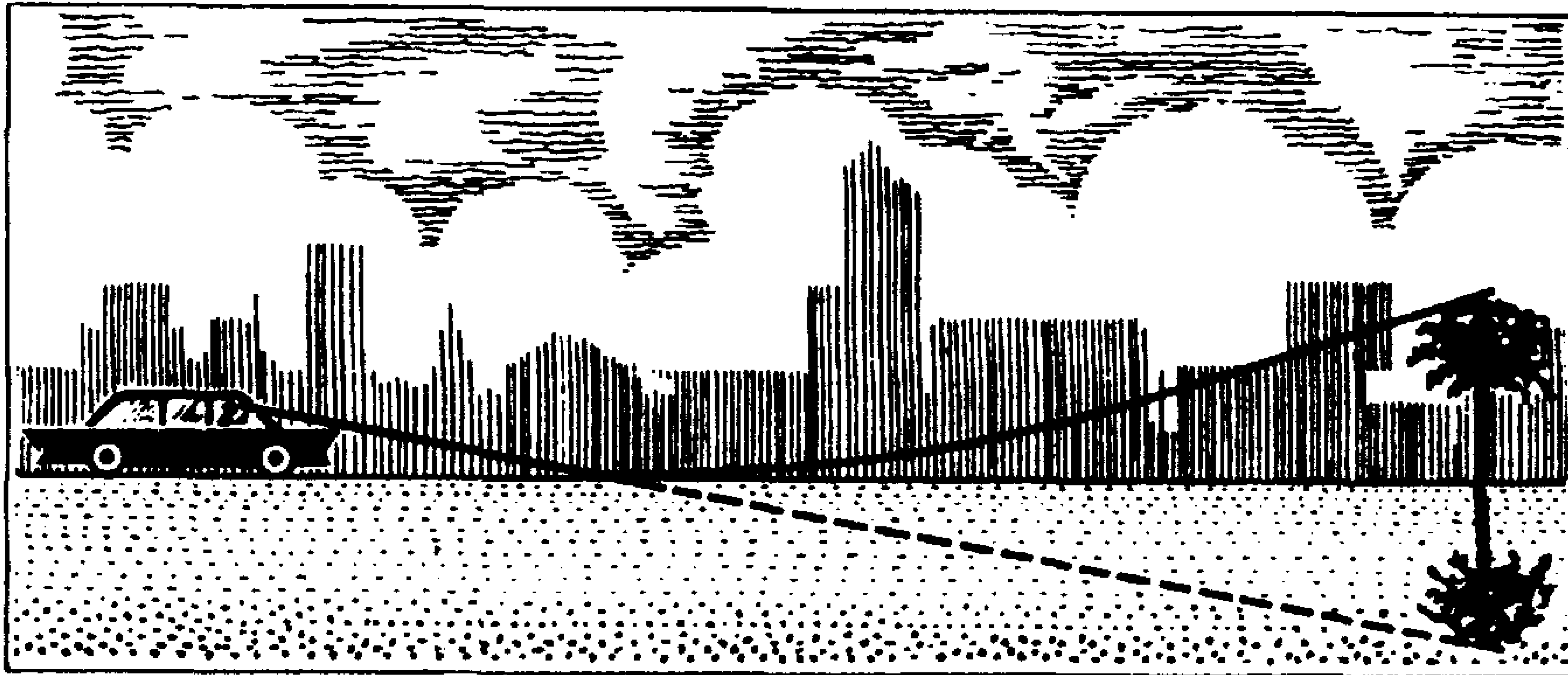
الانعكاس ، يجب ان يكون الشعاع الداخل فى طبقات الهواء ، مائلا جدا – اكثر من الميل الذى هو عليه فى الشكل المبسط ١١٥ . وفيما عدا ذلك ، سوف لا تتكون لدينا « الزاوية الحرجة » لسقوط الشعاع ، التى لا يحدث بدونها انعكاس كلى .

وهنا تجدر الاشارة الى نقطة واحدة من هذه النظرية ، يمكنها ان تحدث التباسا عند القارئ ، وهى ان التفسير المذكور ، يتطلب ان تكون الطبقات الهوائية الكثيفة ، اعلى من الطبقات التى تقل عنها كثافة . ولكننا نعلم ان الهواء الكثيف والثقيل ، يحاول دائما الهبوط الى الاسفل وازاحة طبقة الغاز الخفيفة الموجودة تحته ، الى الاعلى . كيف يمكن ان توجد هذه الوضعية لطبقات الهواء الكثيف والمخلخل ، التى لا بد منها لظهور السراب ؟

ان الجواب على هذا السؤال ، يتلخص فى ان الوضعية المطلوبة لطبقات الهواء ، لا تتحقق عند سكون الهواء ، ولكنها تتحقق عند وجود الهواء المتحرك . ان طبقة الهواء المسخنة بحرارة الارض ، لا تبقى ساكنة على الارض ، ولكنها تنزاح الى الاعلى باستمرار ،

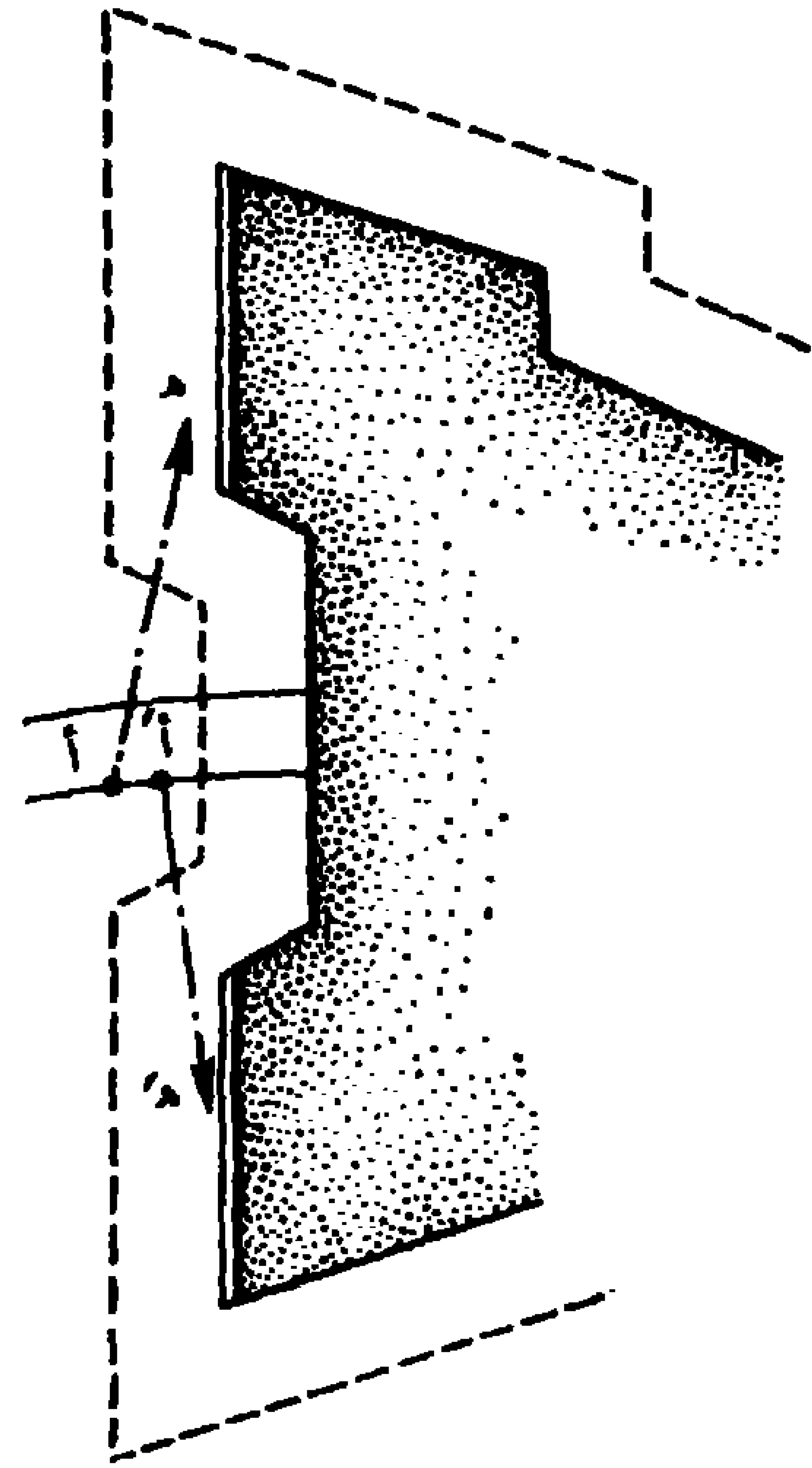
وتستبدل حالا بطبقة جديدة من الهواء الساخن . والتبديل المستمر ، يجعل الرمل المتوهج على اتصال دائم بطبقة ما من الهواء المخلخل ، ولتكن مختلفة الانواع ، لان هذا لا يؤثر على سير الاشعة .

ان نوع السراب قيد البحث ، معروف منذ قديم الزمان . ويسمى في علم الارصاد الجوية الحديث بالسراب السفلي (وذلك لتمييزه عن السراب العلوى ، الذى ينشأ نتيجة لانعكاس اشعة الضوء في طبقات الهواء المخلخل ، في الاجواء العليا) . ويعتقد اكثر الناس ، بان هذا السراب الكلاسيكي لا يظهر الا في الصحارى الجنوبية الحارة ، ولا يمكن ظهوره مطلقا ، في المناطق الواقعة على خطوط العرض الشمالية . وهذا غير صحيح . لاننا كثيرا ما نلاحظ السراب السفلي في المناطق الشمالية . ويكثر حدوث مثل هذه الظواهر ، وبصورة خاصة في ايام الصيف ، على الطرق المبلطة والمعبدة بالاسفلت التى تسخن بشدة بتأثير الشمس ، وذلك بفضل لونها الاسود . عندئذ يبدو سطح الطريق المعتم من بعيد ، وكأنه مغطى بالمياه ، ويعكس الاجسام البعيدة . ان سير اشعة الضوء ، في حالة نشوء مثل هذا السراب ، مبين في الشكل ١١٦ . وعند المراقبة الكافية ، يمكن مشاهدة مثل هذه الظواهر ، عدة مرات ، لا نادرا ، كما يعتقد الناس .



شكل ١١٦ : السراب على احد الطرق المبلطة .

ويوجد نوع آخر من السراب ، وهو السراب الجانبي ، الذى لا يشك احد فى وجوده . وهذا السراب هو انعكاس لاحد الجدران العمودية الساخنة . وقد أتى على وصفه احد المؤلفين الفرنسيين . فعند اقترابه من طابية القلعة ، لاحظ ان الجدار الخرسانى المسطح للطابية ، بدأ يلمع فجأة مثل المرآة ، وقد انعكس فيه المنظر الطبيعى بما فيه الارض والسماء . وعند تقدمه عدة خطوات الى الامام ، لاحظ نفس التغيّر وقد طرأ على الجدار الآخر للطابية . وبدا له وكان السطح الرمادى غير المنتظم ، قد تحول فجأة الى سطح لماع . كان يوما قائظا ، أدى الى تسخن الجدران بشدة ، وكان هذا هو السبب الذى جعل الجدران تلمع .



شكل ١١٧ : المسقط الافقى لجدارى القلعة ، حيث لوحظ السراب. ان الجدار ه يبدو صقيلا من النقطة أ ، اما الجدار هʼ فيبدو صقيلا من النقطة أʼ .

ويبيّن الشكل ١١٧ وضعية جدارى الطابية (ه و هʼ) وموقع المراقب الفرنسى (أ و أʼ) . وقد اتضح ان السراب يظهر كلما سخّنت اشعة الشمس الجدار تسخينا كافيا . وقد امكن تصوير هذه الظاهرة والحصول على صورتها الفوتوغرافية .

ويبين الشكل ١١٨ الجدار ه (الى اليسار) ، وهو فى البداية اربد ، ثم يبدو بعد ذلك (الى اليمين) وهو يلمع مثل المرآة (التقطت الصورة من النقطة أʼ) . وفى الصورة اليسرى ـ يبدو الجدار الخرسانى الرمادى بشكل طبيعى ، ولا يمكن ان تنعكس فيه صورتا الجنديين الواقفين بالقرب منه . وفى الصورة اليمنى ، يبدو القسم الاكبر من الجدار ، وهو يلمع مثل المرآة ، وقد انعكست فيه صورة الجندى الواقف بالقرب منه .

وبالطبع ، فان الذى يعكس الاشعة هنا ، ليس سطح الجدار ، وانما طبقة الهواء الساخن ، الملاصقة له .

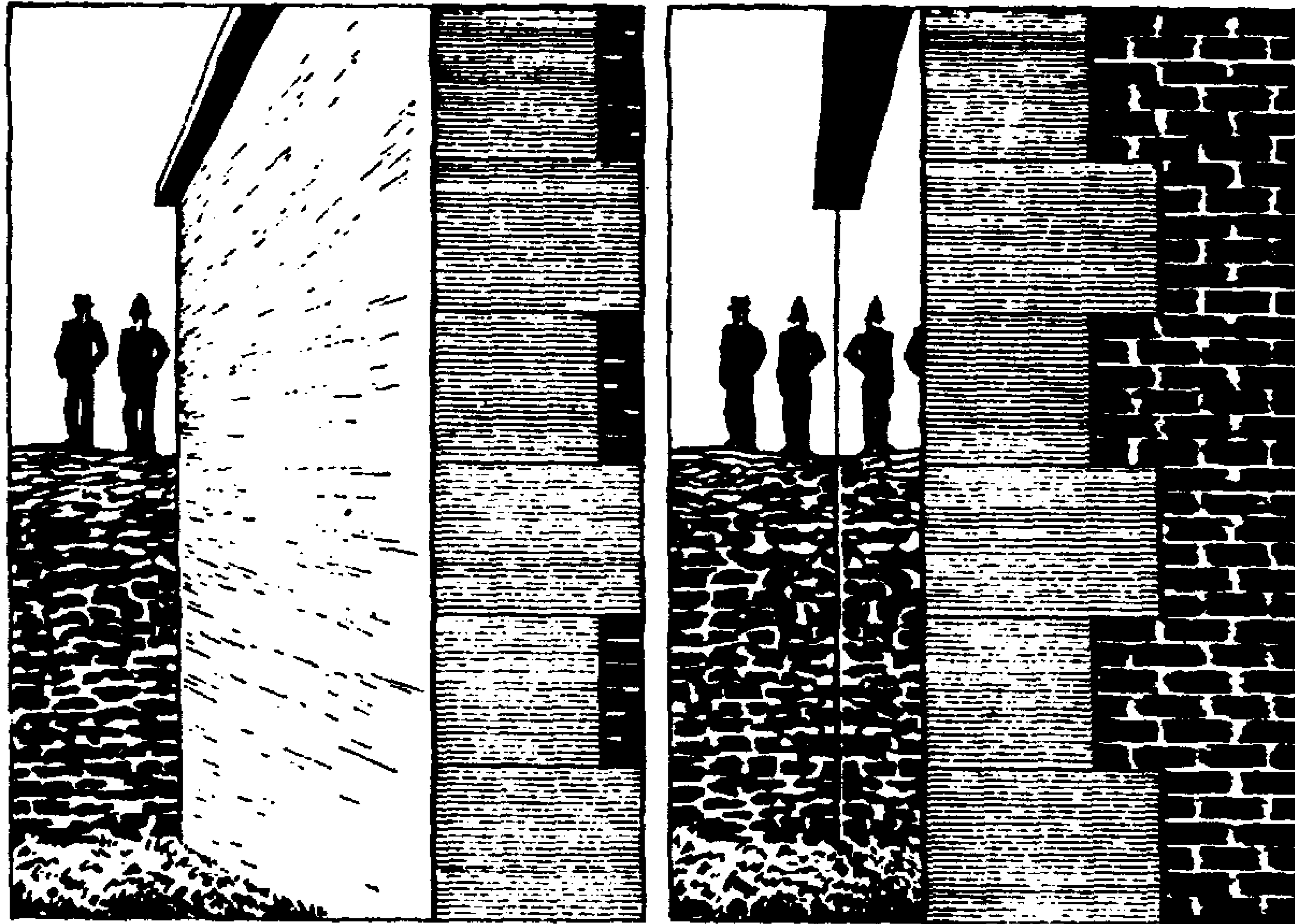
واذا راقبنا جدران المبانى الكبيرة ، التى تتوهج فى ايام الصيف القائظة ، لرأينا بلاشك ان عدد حالات ظهور السراب ، سيزداد بشكل محسوس .

«الشعاع الاخضر»

« هل سبق للقارئ ان قام بمراقبة الشمس وهى تغيب وراء افق البحر ؟

نعم ، بلا شك . وهل تتبع القارئ قرص الشمس ، حتى اللحظة التى تصبح فيها حافة القرص العليا ، ملامسة لخط الافق ، ثم يختفى نهائيا ؟

ان هذا امر محتمل حسبما اعتقد . ولكن هل لاحظ القارئ تلك الظاهرة ، التى تحدث عندما يرسل الكوكب المتألق ، آخر شعاع له ، خاصة اذا كانت السماء عند



شكل ١١٨ : وفجأة يتحول الجدار الرطب الخشن (الى اليسار) ، الى جدار صقيل عاكس (الى اليمين).

ذلك خالية من الغيوم وصافية تماما ؟ من المحتمل الا يكون القارئ قد لاحظ ذلك . وننصح القارئ الا يدع الفرصة تفوته ، وان يحاول القيام بهذه المراقبة ، وسيرى عندئذ بدل الشعاع الاحمر ، شعاعا بلون اخضر بديع ، لا يمكن لأى رسام ان يأتى بمثله ، ولا يوجد شبيه له حتى فى الوان كافة انواع النباتات الموجودة فى الطبيعة ، او فى لون البحر الصافى » .

ان هذه الملاحظة التى ظهرت فى احدى الصحف الانجليزية ، اثارت حماس بطلة قصة جول فيرن « الشعاع الاخضر » ، وجعلتها تقوم بعدد من الرحلات لغرض واحد فقط ، هو رؤية الشعاع الاخضر بالعين المجردة . ومع ان الفتاة الاسكتلندية ، كما جاء فى القصة ، لم تفلح فى رؤية هذه الظاهرة الطبيعية البديعة ، الا ان ذلك لا ينفى وجود تلك الظاهرة .

ان الشعاع الاخضر ليس اسطورة، ولو انه على صلة بكثير من الحوادث الاسطورية. انه عبارة عن ظاهرة طبيعية ، تدخل البهجة على نفس كل من يحب الطبيعة ، اذا حاول ان يبحث عنها بصبر واناة .

لماذا يظهر الشعاع الاخضر ؟

سنفهم سبب ذلك ، اذا تذكرنا باى شكل تظهر الاجسام امام اعيننا ، اذا نظرنا اليها من خلال موشور زجاجى . نقوم باجراء التجربة التالية : نضع الموشور امام العين بصورة افقية ، بحيث يكون اتجاه جانبه العريض الى الاسفل ؛ وننظر من خلاله الى قطعة من الورق ، ملصقة على الجدار . سنلاحظ اولا ، ان قطعة الورق قد ارتفعت كثيرا عن مستواها الحقيقى ، وثانيا ، ظهرت فى اعلاها حاشية بنفسجية — زرقاء ، وفى اسفلها حاشية صفراء — حمراء . ان الارتفاع المذكور يعتمد على انكسار الضوء ، اما الحواشى الملونة ، فتعتمد على تشتيت الزجاج للضوء ؛ اى قابلية الزجاج لكسر الاشعة المختلفة الالوان ، كسرا مختلفا . ان الاشعة البنفسجية والزرقاء ، تنكسر اشد من غيرها ، ولذلك نشاهد فى الاعلى حاشية بنفسجية — زرقاء ، اما الاشعة الحمراء ، فهى اضعف انكسارا من البقية ، ولذلك تبدو الحاشية السفلى للورقة ؛ حمراء اللون .

ولكي نفهم الحقائق الاخرى بصورة اوضح : يجب التوقف هنا لشرح مصدر تلك الحواشي الملونة . ان الموشور يحلل الضوء الابيض المنبعث من الورقة ، الى كافة الوان الطيف الشمسي ، ويعطي عدة صور ملونة لقطعة الورق ، تكون في الغالب مركبة فوق بعضها ، ومرتبة حسب نظام الانكسار . ونتيجة للتأثير الموحد لهذه الصور الملونة : المركبة فوق بعضها ، ترى العين اللون الابيض (تركيب الالوان الطيفية) ، ولكن تظهر في الاعلى والاسفل ، حاشيتان من الالوان غير المختلطة . ان الشاعر الالماني والعالم الطبيعي المشهور غوته ، الذي عاش في القرن الثامن عشر ، قام باجراء هذه التجربة ولم يفهم معناها الحقيقي ، فتصور انه فضح بذلك بطلان نظرية نيوتن المتعلقة بالالوان ، وكتب بعد ذلك بحثا خاصا عن « علم الالوان » . وقد كان البحث برمته تقريبا ، مبنيا على تصورات خاطئة . والمفروض من القارئ ، الا يسير في متاهات الشاعر العظيم ، ولا يتوقع ان يعمل الموشور على تلوين كافة الاشياء .

ان جو الارض يبدو امام اعيننا وكأنه موشور هوائي هائل ، تتجه قاعدته الى الاسفل . وعندما ننظر الى الشمس عند الافق ، فاننا نراها من خلال ذلك الموشور الهوائي . وتظهر على الحافة العليا لقرص الشمس ، حاشية ملونة باللونين الازرق والاخضر . وعلى الحافة السفلى ، حاشية ملونة باللونين الاحمر والاصفر . وحينما تنتصب الشمس فوق الافق ، فان لون القرص الساطع ، يطغى على بقية الالوان التي تقل عنه وضوحا بكثير ، ولذلك فاننا لا نراها مطلقا . ولكن في لحظات الشروق والغروب ، عندما يكون قرص الشمس مختفيا تقريبا وراء الافق ، يمكننا رؤية الحاشية الزرقاء للحافة العليا . وتكون ذات لونين : في الاعلى يوجد شريط ازرق ، وفي الاسفل شريط سماوي اللون ، ناتج عن امتزاج الاشعة الزرقاء والخضراء . وعندما يكون الهواء القريب من الافق ، نقيًا خالصا وشفافا ، تظهر الحاشية الزرقاء ــ « الشعاع الازرق » . ولكن غالبا ما يتشتت الشعاع الازرق في الجو ، وتبقى الحاشية الخضراء وحدها ، اي تحدث ظاهرة « الشعاع الاخضر » . واخيرا ، ففي اكثر الحالات ، يتشتت كذلك ، الشعاعان الازرق والاخضر ، في طبقات الجو الكدرة ، وفي هذه الحالة لا تظهر اية حاشية ، اذ تغلف الشمس بكرة ارجوانية .

ان العالم الفلكي السوفييتي تيخوف ، الذى قام ببحث خواص ظاهرة « الشعاع الاخضر » ، يذكر لنا بعض علامات روءية تلك الظاهرة : « اذا كان لون الشمس عند الغروب احمر ، وكان من السهل علينا ان ننظر اليها بالعين المجردة ، يمكننا عندئذ ان نؤكد بان « الشعاع الاخضر » لن يظهر » . والسبب هنا واضح : ان اللون الاحمر لقرص الشمس ، يدل على شدة تشتت الاشعة الزرقاء والخضراء فى الجو ، اى تشتت الحاشية العليا للقرص برمّتها . ثم يستمر تيخوف فى حديثه : « وعلى عكس ذلك : اذا غيرت الشمس قليلا ، من لونها الطبيعى الاصفر المائل الى البياض ، ومالت الى المغيب وهى متألقة جدا — اى اذا كان الجو لا يمتص كثيرا من الضوء — ، يمكننا عندئذ ان نتوقع الى درجة كبيرة ، ظهور « الشعاع الاخضر » . والشىء المهم هنا بالضبط ، ان يكون الافق خطا مستقيما متميزا ، اى بدون وجود نتوءات ، مثل غابة قريبة او بنايات وغير ذلك . وهذه الشروط تتحقق على خير وجه ، عند البحر ، ولهذا السبب : يعرف البحارة الشعاع الاخضر ، معرفة جيدة » .

وهكذا ، فلكى نرى « الشعاع الاخضر » يجب مراقبة الشمس عند غروبها او شروقها ، حينما تكون السماء صافية جدا . وفى البلاد الجنوبية ، تكون السماء عند الافق ، اكثر صفاء مما هى عليه فى البلاد الشمالية . ولهذا السبب ، فان « الشعاع الاخضر » يظهر فى الجنوب اكثر من ظهوره فى الشمال . ولا يكون ظهوره نادرا عند خطوط العرض المتوسطة ، كما يفكر الكثير من الناس ، الذين يحتمل ان يكونوا متأثرين بقصة جول فيرن . ان من يبحث عن « الشعاع الاخضر » بروح المثابرة ، فانه سيراه عاجلا ام آجلا. وقد تمكن البعض من مشاهدة هذه الظاهرة البديعة ، بواسطة المنظار . وقد وصف هذه الظاهرة ، عالمان فلكيان من مقاطعة الالزاس فى المانيا ، على الشكل التالى :

« خلال الدقيقة الاخيرة التى تسبق غروب الشمس ، عندما يكون قسم كبير من قرصها ما زال واضحا ، وله حدود موجية الحركة ، حادة الملامح ، وهو محاط بحاشية خضراء ، وما دامت الشمس لم تغب نهائيا بعد ، فلا يمكن روءية تلك الحاشية بالعين المجردة . ويمكن روءيتها فى حالة واحدة فقط ، هى عندما تختفى الشمس



شكل ١١٩ : مراقبة « الشعاع الاخضر » لمدة طويلة ، حيث شاهد المراقب « الشعاع الاخضر » وراء السلسلة الجبلية لمدة خمس دقائق بكاملها . اعلى الشكل الى اليمين — « الشعاع الاخضر » كما يرى من خلال الانبوب البصرى . ويكون لمحيط قرص الشمس شكل غير منتظم . وفى الحالة (١) يؤدى لمعان قرص الشمس الى اعماء العين فيحول بذلك دون رؤية الحاشية الخضراء بالعين المجردة . اما فى الحالة (٢) ، عندما يختفى قرص الشمس تقريبا ، فيمكن رؤية « الشعاع الاخضر » بالعين المجردة .

كليا وراء الافق . فاذا نظرنا بمنظار يكبر الاشياء الى درجة كبيرة (بحوالى ١٠٠ مرة) ، لتمكنا من مراقبة جميع الظواهر بالتفصيل : ان آخر وقت تظهر فيه الحاشية الخضراء ، يكون قبل غروب الشمس بعشر دقائق ، وتحيط الحاشية الخضراء بالقسم العلوى للقرص ، فى الوقت الذى تظهر فيه حاشية حمراء فى القسم السفلى منه . ويكون عرض الحاشية فى اول الامر صغيرا جدا (عدة ثوان من القوس فقط) ، ويزداد كلما توغلت الشمس وراء الافق ، حتى يصل فى بعض الاحيان الى نصف دقيقة من القوس . وكثيرا ما تلاحظ فوق الحاشية الخضراء نتوءات خضراء ايضا ، تبدو عند اختفاء الشمس تدريجيا ، وكأنها تزحف على حافتها الى نقطة اعلى ، واحيانا تنفصل عن الحاشية وتتألق لعدة ثوان بصورة مستقلة الى ان تنطفئ (شكل ١١٩) .

وعادة ، تستغرق هذه الظاهرة ، ثانية او ثانيتين من الوقت . ولكن في بعض الحالات الاستثنائية ، تستغرق اكثر من ذلك بكثير . وهناك حالة ، دام فيها ظهور « الشعاع الاخضر » ، اكثر من خمس دقائق ! اختفت الشمس وراء الجبال البعيدة ، ولاحظ المراقب السريع الخطى ، الحاشية الخضراء لقرص الشمس ، وكأنها تنحدر من قمة الجبل الى اسفله (شكل ١١٩) .

واحسن حالات مراقبة « الشعاع الاخضر » تتوفر عند شروق الشمس ، حينما تبدأ حافة الشمس العليا بالظهور من تحت الافق . وهذا يدحض الظنون القائلة بان « الشعاع الاخضر » ما هو الا خداع البصر ، الذى تستسلم له العين وهى مصابة بالاعياء نتيجة لتأثير البريق الساطع ، للشمس التى غابت للتو .

وليست الشمس بالكوكب الوحيد ، الذى يرسل « الشعاع الاخضر » ، فقد لوحظت هذه الظاهرة ، عند انبعاثها من كوكب الزهرة ، وهو يميل الى المغيب .

الفصل التاسع | الابصار

قبل الاهتداء الى التصوير الضوئى

لقد اصبح التصوير الضوئى فى حياتنا اليومية ، امرا عاديا جدا ، بحيث لا يمكننا ان نتصور كيف استطاع اجدادنا ، حتى القريبين منهم ، ان يستغنوا عنه. ويحدثنا الكاتب الانكليزى جارلز ديكنز فى مؤلفه المعنون « يوميّات بيكويك » ، كيف تم طبع الملامح الخارجية لاحد الاشخاص فى احدى المؤسسات الحكومية فى انجلترا ، قبل مائة سنة . تجرى الحوادث فى احد السجون ، التى اقتيد اليها بيكويك .

واخبروا بيكويك ، بان عليه ان ينتظر الى ان تلتقط له صورة .

وصاح بيكويك بدهشة :

« ـ تلتقط لى صورة !

فاجابه السجّان القوى البنية :

ـ صورة تشبهك تماما ياسيدى ، يجب ان تعلم باننا اساتذة فى فن التقاط الصور! فقبل ان تنتهى من ادارة وجهك ، ستكون الصورة جاهزة . اجلس يا سيدى واطمئن تماما .

استجاب بيكويك للدعوة فجلس . وعندئذ همس صموئيل (خادم بيكويك) فى اذنه واخبره بان عبارة « التقاط صورة » ، تحمل هنا معنى مجازيا :

ـ ان هذه العبارة يا سيدى ، تعنى بان السجانين سيتفحّصون وجهك مليّا ، لكى يميّزونك عن الزوّار .

وبدأت العملية . القى السجان البدين نظرة لأبالية على بيكويك ، بينما وقف

صاحبه قبالة السجين الجديد وراح ينظر اليه نظرة ثاقبة . اما الرجل الثالث ، فقد وقف امام وجه بيكويك تماما ، وأخذ يتفرس في ملامحه بانتباه شديد .

واخيرا التقطت الصورة ، واخبروا بيكويك بانه يستطيع الآن الذهاب الى السجن » .

وقبل ذلك الوقت ، كانت « جداول » العلامات الفارقة ، تقوم بدور هذه « الصور » العالقة بالذاكرة . ويحدثنا الشاعر بوشكين في روايته « بوريس جدونوف » ، كيف وصفوا جريجورى اوتريبيف في مرسوم القيصر : « قصير القامة ، عريض المنكبين ، احدى يديه اقصر من الاخرى ، عيناه زرقاوان ، شعره احمر ، توجد على خده ثؤلولة واحدة ، وعلى جبينه ثؤلولة اخرى» . اما في هذا الوقت ، فيكفي وضع الصورة فقط

ما الذى لا يستطيع ان يفعله الكثير ؟

لقد وصل التصوير الضوئي الى روسيا في اربعينيات القرن الماضي ، وكان في بادئ الامر على هيئة ما يسمى بـ « التصوير الشمسي على الواح معدنية » . وقد كانت طريقة هذا التصوير غير مريحة ، وذلك لضرورة الجلوس امام آلة التصوير وقتا طويلا ، بلا حراك – لعدة عشرات من الدقائق .

ويحدثنا عن ذلك ، العالم الفيزيائي اللينينغرادى ، البروفيسور فاينبرج : « لقد جلس جدّى امام آلة التصوير الشمسي على الالواح المعدنية ، حوالى اربعين دقيقة ، للحصول على صورة واحدة فقط ، لا يمكن مضاعفتها ! » . ومع ذلك ، فقد كانت امكانية الحصول على صورة دون الاستعانة برسام ، شيئا جديدا يدعو الى العجب ، حيث لم يتعود الناس عليه الا بعد مرور وقت طويل .

وهناك قصة طريفة نشرت في احدى المجلات الروسية القديمة عام ١٨٤٥ ، وهى تتطرق الى هذا الموضوع : « ان الكثير من الناس حتى يومنا هذا ، لا يريد ان يصدق بان آلة التصوير تشتغل ذاتيا . فقد قدم احد الوجهاء الى المـّصور ، وطلب التقاط صورة له . فاجلسه المصور على الكرسي ، وضبط عدسة الجهاز ، ووضع اللوح المعدني ، ثم نظر الى ساعته وخرج . وطوال الوقت الذى كان فيه المصور في الغرفة ، كان الوجيه

يجلس بلا حراك ، ولكن ما ان خرج المصور من الغرفة ، حتى اعتقد الوجيه بانه لا داعي بعد ذلك للجلوس بسكون ، فنهض عن الكرسي ، وبدأ ينشق التبغ ويتفحص آلة التصوير من كافة الجهات ، وقرب عينه من العدسة ثم هز رأسه وتمتم قائلا : « آلة ماهرة الصنع ! » وأخذ يذرع ارض الغرفة جيئة وذهابا .

ولما عاد المصور ، توقف عند الباب مندهشا ، وصاح في الوجيه قائلا :

– ماذا تفعل ؟ لقد رجوتك ان تجلس بلا حراك !

– لقد جلست ، ولم انهض الا عند مغادرتك للغرفة .

– كان يجب ان تجلس طوال هذا الوقت .

– ولماذا يجب ان اجلس بدون فائدة ؟

وقد يبدو للقارئ اننا في الوقت الحاضر قد ابتعدنا عن كافة الافكار الساذجة ، المتعلقة بالتصوير . ولكن في هذا الوقت ايضا ،نرى ان معظم الناس ، لم يستوعبوا بعد فهم التصوير ، فهما دقيقا ، وبهذه المناسبة ، فان قليلا من الناس فقط ، يعرف كيف يجب ان ننظر الى الصورة الجاهزة . هل يعتقد القارئ ان هذا الامر بسيط ، ولا يحتاج الى معرفة سوى تناول الصورة باليد والنظر اليها ؟ ! ان الامر ليس بهذه السهولة مطلقا : ان الصور الفوتوغرافية ، هي من الاشياء المستعملة في حياتنا اليومية ، وبالرغم من انتشارها الواسع ، فاننا لا نستطيع الى الآن ان ننظر اليها بصورة صحيحة . ان اكثر المصورين ، المحترفين منهم والهواة – ناهيك عن سائر الجماهير – ينظرون الى الصور الفوتوغرافية ، بطريقة تختلف تماما عما يجب ان تكون عليه . ان التصوير الضوئي معروف منذ قرن من الزمن تقريبا ، ومع ذلك فان كثيرا من الناس لا يعرف على وجه الخصوص ، كيف يجب ان ننظر الى الصور الفوتوغرافية .

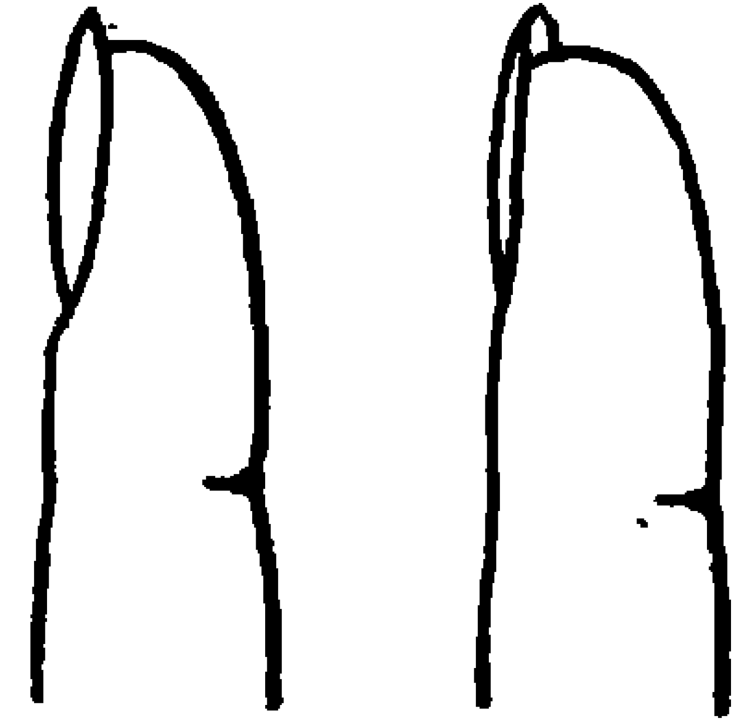
كيف يجب ان ننظر الى الصور الفوتوغرافية ؟

ان تركيب آلة التصوير ، مبني على نفس مبدأ تركيب العين . والشكل الذي يظهر على زجاجها المسنفر : يعتمد على المسافة بين العدسة والجسم المراد تصويره . ان آلة

التصوير تطبع على اللوح ، المنظر العام الذى يظهر امام العين (العين الواحدة فقط !) ، التى تحل محل العدسة . وينتج من ذلك، اننا اذا اردنا ان تعطى الصورة الفوتوغرافية ، نفس الانطباع البصرى ، الذى تعطيه الطبيعة بالذات . فيجب علينا :

١) ان ننظر الى الصورة الفوتوغرافية بعين واحدة فقط ،

٢) ان نبعد الصورة عن العين ، مسافة مناسبة .



شكل ١٢٠ : الاصبع كما يبدو لكل من العينين اليسرى واليمنى ، عندما يوضع قريبا من الوجه .

وليس من الصعب ان نفهم ، باننا عندما ننظر الى الصورة بعينينا الاثنتين ، فلا بد ان نرى امامنا صورة مسطحة ، لا صورة مجسمة . وهذا ناتج بالضرورة ، عن خواص الابصار عندنا . وعندما ننظر الى جسم صلب، فان صورته المتكونة فى شبكية العين اليسرى ، تختلف عن صورته المتكونة فى شبكية العين اليمنى (شكل ١٢٠) . ان هذا الاختلاف ، هو فى الواقع السبب الرئيسى الذى يجعل الاجسام تظهر امامنا مجسمة . ان عقلنا يقوم بدمج هاتين الصورتين المختلفتين ، فى صورة مجسمة واحدة (وعلى هذا الاساس ، كما هو معروف ، تم تركيب جهاز الاستريوسكوب) .

ويختلف الامر اذا نظرنا الى جسم مسطح ، سطح الجدار مثلا ؛ عندئذ تتكون فى كلتا العينين ، صورتان متشابهتان تماما . وهذا التشابه ، يكون بالنسبة للعقل ، بمثابة دلالة تشير الى الامتداد السطحى للجسم .

والآن ، اتضح الخطأ الذى نقع فيه ، عندما ننظر الى الصور بكلتا العينين . اذ اننا بذلك ، نجعل عقلنا يتصور بان امامه صورة مسطحة بالذات ! وحينما نعرض امام العينين ، صورة مخصصة لعين واحدة فقط ، فاننا نمنع انفسنا من رؤية المنظر الموجود فى الصورة ، على حقيقته ، وهكذا نفسد الصورة ، التى تلتقطها آلة التصوير باتقان تام .

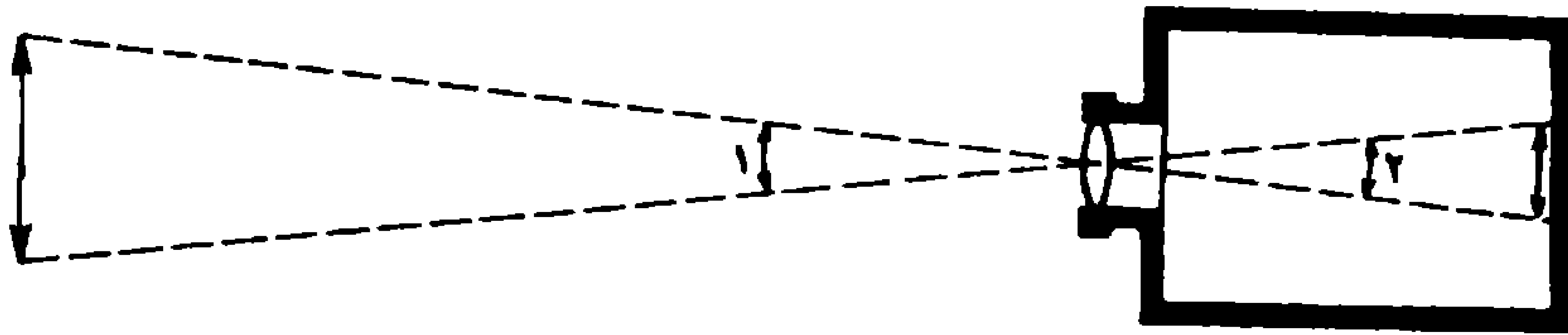
الى اية مسافة يجب ابعاد الصورة عن العين ؟

ان القاعدة الثانية . المذكورة سابقا – ابعاد الصورة عن العين بمسافة مناسبة ، هى قاعدة مهمة ايضا . وفى حالة عدم مراعاتها ، يختل المنظر العام الصحيح .

الى اية مسافة اذن ، يجب ابعاد الصورة عن العين ؟

للحصول على انطباع كلي ، يجب ان ننظر الى الصورة : من نفس زاوية الابصار ، التى نسخت العدسة منها صورة الجسم ، على الزجاج المسنفر لآلة التصوير . او من نفس الزاوية ، التى « نظرت » العدسة منها الى الجسم (شكل ١٢١) . وينتج من ذلك ، اننا يجب ان نبعد الصورة عن العين ، بمسافة تقل عن المسافة التى يبعد بها الجسم عن العدسة ، بعدد المرات التى يقل فيها حجم الصورة عن حجم الجسم الطبيعى . وبعبارة اخرى ، يجب ابعاد الصورة عن العين ، مسافة مساوية تقريبا للبعد البؤرى للعدسة .

واذا أخذنا فى الاعتبار ، ان البعد البؤرى فى اكثر آلات التصوير الخاصة بالهواة ، يتراوح بين ١٢ – ١٥ سم * ، لعرفنا باننا لا ننظر الى هذه الصور ابدا ، من مسافة صحيحة البعد عن العين : ان البعد البؤرى للعين القوية الابصار (٢٥ سم) ، هو على وجه التقريب ، ضعف البعد البؤرى للعدسة المذكورة اعلاه . والصور المعلقة على الحائط : تبدو مسطحة كذلك – لاننا ننظر اليها من مسافة ابعد .



شكل ١٢١ : فى آلة التصوير تكون الزاوية (١) مساوية للزاوية (٢) .

* ان المؤلف يقصد بذلك ، آلات التصوير ، بأنواعها التى كانت تستخدم فى الوقت الذى تم فيه تأليف هذا الكتاب .

ان الاشخاص المصابين بقصر البصر ، يستطيعون بفضل البعد البؤرى القليل (وكذلك الاطفال ، الذين يتمكنون من الرؤية على مسافة قريبة) ، ان يمتعوا انفسهم بالتأثير الذى تعطيه الصورة العادية ، عند النظر اليها من مسافة مناسبة (بعين واحدة) . وعندما يضعون الصورة على مسافة تتراوح بين ١٢ — ١٥ سم من العين ، فانهم لا يرون امامهم صورة مسطحة ، بل صورة مجسمة ، كما تظهر فى الاستريوسكوب تقريبا .

وآمل ان يتفق القارئ معى الآن ، عندما اقول باننا فى اكثر الحالات ، وبسبب جهلنا بالذات ، لا نستمد من الصور الفوتوغرافية ، تلك المتعة التامة التى توفرها لنا . اذ *اننا غالبا ما نشكو عبثا ، من عدم حيوية تلك الصور . ان كل ما فى الامر ، هو اننا* لا نضع عيننا فى النقطة الملائمة بالنسبة للصورة ، واننا ننظر بكلتا العينين الى الصورة ، التى يجب النظر اليها بعين واحدة .

التأثير العجيب للعدسة المكبرة

ان الناس المصابين بقصر البصر ، كما اوضحنا آنفا ، يستطيعون بسهولة رؤية الصور العادية ، بهيئة مجسمة . ولكن ماذا يفعل الناس الذين يتمتعون بعيون سليمة ؟ انهم لا يستطيعون تقريب الصورة الى مسافة قريبة جدا من العين ، ولكنهم يستطيعون استخدام العدسة المكبرة . وعندما ينظرون الى الصورة من خلال عدسة بقدرة تكبير مضاعفة ، فانهم يستطيعون بسهولة الحصول على نفس الفوائد التى يحصل عليها المصابون بقصر النظر ، اى يكون باستطاعتهم ، دون اجهاد العين ، ان يروا كيف تصبح الصورة مجسمة . ان الاختلاف بين الانطباع الذى يتكون لدينا فى هذه الحالة ، وبين الانطباع الذى يتكون لدينا عندما ننظر الى الصورة بكلتا العينين ومن مسافة بعيدة ، هو اختلاف كبير جدا . ان النظر الى الصور العادية بهذه الطريقة ، يكون على وجه التقريب ، بديلا لاستخدام الاستريوسكوب .

والآن ، اصبح من الواضح ، لماذا تبدو الصور مجسمة ، اذا نظرنا اليها بعين واحدة من خلال عدسة مكبرة . وهذه الحقيقة معروفة لدى الجميع ، ولكن التفسير

الصحيح لهذه الظاهرة ، لا يسمع به الا نادرا . وبهذا الصدد . كتب فى احد نقاد كتاب « الفيزياء المسلية » ، ما يلى : « ارجو بحث السؤال التالى فى الطبعة القادمة من الكتاب : لماذا تبدو الصور مجسمة ، عندما ننظر اليها من خلال عدسة مكبرة ؟ اننى اعتقد بان التفسير المعقد للاستريوسكوب ، سوف لا يصمد امام النقد الذى سيتعرض له . حاول ان تنظر فى الاستريوسكوب بعين واحدة ، وسترى ان الصورة تحافظ على شكلها المجسم ، خلافا للنظرية » .

وبطبيعة الحال ، لقد اتضح للقراء الآن ، بان نظرية الاستريوسكوب لم تتأثر قيد شعرة ، بهذا العامل .

ان نفس المبدأ بالذات ، هو اساس التأثير الممتع لما يسمى : « البانوراما » * . ان الصورة العادية للمنظر الطبيعى او لمجموعة من الناس ، توضع فى هذا الجهاز الصغير . وينظر اليها من خلال عدسة مكبرة ، بعين واحدة . وهذا يكفى للحصول على الشكل المجسم ، وعادة يجعلون الصورة مجسمة اكثر ، وذلك بقص بعض الاجسام الموجودة فى صدر الصورة ، ووضعها على انفراد فى مقدمة تلك الصورة . ان عيننا شديدة الحساسية بالنسبة للاشياء المجسمة القريبة ، وتقل هذه الحساسية بصورة واضحة ، بالنسبة للاشياء المجسمة البعيدة .

تكبير الصور

الا يمكن اعداد صورة فوتوغرافية ، بحيث تستطيع العين الطبيعية ان تنظر اليها بصورة صحيحة ، دون استخدام العدسات ؟ ممكن بالطبع – وللقيام بذلك لا نحتاج الا الى استخدام آلات تصوير ، تحتوى على عدسات ذات ابعاد بؤرية كبيرة . وبعد الشرح المذكور سابقا ، يتضح ان الصورة التى نحصل عليها باستخدام عدسة يتراوح بعدها البؤرى بين ٢٥ و٣٠ سم ، يمكن النظر اليها (بعين واحدة) من مسافة عاديّة – وستبدو مجسمة الى درجة كافية .

* المنظر الشامل (المعرب) .

ويمكن الحصول كذلك ، على صور لن تبدو مسطحة ، حتى اذا نظرنا اليها بكلتا العينين ، من مسافة بعيدة . ولقد ذكرنا سابقا ، انه عندما تحصل كلتا العينين ، على صورتين متماثلتين لجسم واحد معيّن ، يعمل العقل على دمجهما فى صورة واحدة مسطحة . ولكن قابلية العقل للقيام بذلك ، تضعف بازدياد المسافة . وقد اثبتت التجارب العملية ، ان الصور التى تم الحصول عليها باستخدام عدسة يبلغ بعدها البؤرى ٧٠ سم ، يمكن النظر اليها بكلتا العينين ، دون ان نفقد الاحساس بشكلها المجسم .

ولكن ضرورة اللجوء الى استخدام العدسة ذات البعد البؤرى الكبير ، تسبب المضايقة ايضا . ولذلك نقدم الآن طريقة اخرى ، تتلخص فى تكبير الصور ، التى نحصل عليها عند استخدام آلة التصوير العادية .

عند التكبير ، تزداد المسافة الصحيحة ، التى تفصل العين عن الصورة عندما ننظر اليها . واذا كبّرنا الصورة التى نحصل عليها باستخدام عدسة يبلغ بعدها البؤرى ١٥ سم ، بمقدار اربع او خمس مرات ، فان هذا يكفى للحصول على التأثير المطلوب : وهو مشاهدة الصورة المكبرة بكلتا العينين ، من مسافة تتراوح بين ٦٠ و٧٥ سم . ان عدم جلاء الصورة المبتسر ، لا يؤثر على الانطباع الذى يتكون لدينا ، وذلك لانه يختفى تقريبا ، عندما ننظر الى الصورة من مسافة بعيدة . وتكون الصورة جيدة ايضا من حيث التجسيم والمنظر الشامل .

احسن مقعد فى السينما

ان الناس الذين يترددون كثيرا على دور السينما ، ربما لاحظوا ان بعض الافلام تتميز بكونها مجسمة للغاية ، بحيث تنفصل الاجسام عن المنظر الخلفى ، وتبدو بارزة ، حتى انها تجعل المشاهد يشعر بان امامه منظرا طبيعيا حقيقيا ، او ممثلين يتحرّكون على خشبة المسرح بالذات . ان بروز الصور بهذا الشكل ، لا يعتمد على خواص الشريط السينمائى بالذات ، كما يظن الناس غالبا ، انما يعتمد على المحل الذى يجلس فيه

المشاهد . ومع ان تصوير الافلام السينمائية ، يتم بواسطة آلات تصوير ذات بعد بؤرى قليل جدا ، الا انها تعرض على الشاشة بصورة مكبرة للغاية — بمائة مرة — ، بحيث يمكن مشاهدتها بكلتا العينين ، من مسافة بعيدة (١٠ سم×١٠٠ = ١٠ م) . ويمكن ان تبدو الصورة مجسمة الى اكبر حد ، اذا نظرنا اليها من نفس زاوية الابصار : التى « نظرت » منها العدسة الى الجسم الطبيعى اثناء تصويره . عندئذ ستبدو امامنا صورة مجسمة حقيقية .

كيف يمكننا اذن ، ان نجد المسافة المناسبة لزاوية الابصار الاكثر ملاءمة ؟ لكى نفعل ذلك ، يجب ان نختار المقعد بحيث يكون : اولا ، مقابل منتصف الفلم السينمائى ، وثانيا ، ان يبعد عن الشاشة بمسافة تزيد عن عرض الصورة . بعدد مرات زيادة البعد البؤرى للعدسة ، عن عرض الشريط السينمائى .

وعند تصوير الافلام السينمائية تستخدم عادة آلات تصوير يبلغ بعدها البؤرى ٣٥ مم ، ٥٠ مم ، ٧٥ مم و ١٠٠ مم ، وذلك تبعا لطبيعة التصوير .

اما العرض القياسى للشريط فهو ٢٤ مم . واذا بلغ البعد البؤرى ، مثلا ٧٥ مم ، تكون النسبة عندئذ ، كما يلى :

$$\frac{\text{المسافة المطلوبة}}{\text{عرض الصورة}} = \frac{\text{البعد البؤرى}}{\text{عرض الشريط}} = \frac{٧٥}{٢٤} \approx ٣$$

وهكذا . فلكى نعرف على اية مسافة من الشاشة يجب ان نجلس ، يكفى ان نضرب عرض الصورة فى العدد ٣ . فاذا بلغ عرض الصورة السينمائية ٦ خطوات ، فان احسن محل لمشاهدة ذلك الفلم ، سيقع على مسافة ١٨ خطوة من الشاشة .

ويجب الا نغفل عن هذا الامر ، عند اختيار مختلف الوسائل المعدة ، لاعطاء الفلم السينمائى شكلا مجسما ، وذلك لانه من السهل ان ينسب المشاهد الى الصورة ، اشياء تتعلق فى الواقع ، بالامور المذكورة اعلاه .

نصيحة الى قراء المجلات المصورة

ان لنسخ الصور الفوتوغرافية المطبوعة في الكتب والمجلات ، نفس خصائص الصور الاصلية ، اى انها تصبح مجسمة ايضا ، اذا نظرنا اليها بعين واحدة ، من مسافة مناسبة . ولما كانت الصور المختلفة ، تلتقط بآلات تصوير ذات ابعاد بؤرية مختلفة ، فان ايجاد المسافة المناسبة للنظر الى الصورة ، يتم بالتجربة . اغمض احدى عينيك ، ثم امسك الصورة بيد ممدودة ، بحيث يكون مستوى الصورة عموديا على شعاع الابصار . وتكون العين المفتوحة ، قبالة منتصف الصورة . والآن قرّب الصورة تدريجيا ، دون ان ترفع نظرك عنها ، وبذلك ستحين اللحظة التى تبدو فيها الصورة مجسمة الى اقصى حد ممكن .

ان كثيرا من الصور ، التى تبدو غير جلية ومسطحة عندما ننظر اليها بشكل طبيعى ، تصبح مجسمة وواضحة ، اذا نظرنا اليها بالطريقة المذكورة سابقا . وعندما ننظر الى الصورة بهذه الطريقة ، كثيرا ما يتضح بجلاء رونق المياه ، وغير ذلك من الظواهر الاستريوسكوبية .

والشيء الذى يدعو الى العجب ، هو ان هذه الحقائق البسيطة، لا يعرفها الا القليل من الناس ، بالرغم من ان كل ما ذكرناه تقريبا فى هذا البحث ، قد تم شرحه فى الكتب العامة منذ اكثر من نصف قرن مضى . واذا طالعنا كتاب « مبادئ فسيولوجيا العقل » للعالم النفسى الانجليزى كاربنتر ، الذى عاش فى القرن التاسع عشر ، لوجدنا فيه البحث التالى عن مشاهدة الصور :

« ومن الجدير بالاعتبار ، ان تأثير هذه الطريقة لمشاهدة الصور الفوتوغرافية (بعين واحدة) ، لا يقتصر على اظهار بروز الاجسام ، لان هناك خصائص اخرى، تضاف الى الصورة وتجعلها رائعة وحقيقية بشكل ليس له نظير . وهذا يخصّ بالدرجة الاساسية ، صورة الماء الساكن — وهى اضعف مواضع الصور الفوتوغرافية فى الظروف الطبيعية . فاذا نظرنا بصفة خاصة ، الى صورة الماء هذه ، بكلتا العينين ، لظهر سطح

الماء وكأنه من الشمع . اما اذا نظرنا اليه بعين واحدة ، لظهر لنا فى اغلب الاحوال ، بصفائه البديع وعمقه .

ويمكن ان نقول نفس الشيء ، بالنسبة لمختلف خصائص السطوح العاكسة للضوء ، مثل سطح البرونز والعاج . ويمكن بسهولة كبيرة معرفة المادة التى صنع منها الجسم المصور ، اذا نظرنا الى الصورة بعين واحدة ، وليس بعينين » .

ونلفت الانتباه الى شيء آخر . اذا كانت الصور تزداد حيوية عند تكبيرها ، فانها على العكس من ذلك ، تقل حيوية عند تصغيرها . وفى الحقيقة ، تكون الصور المصغرة حادة الملامح وجلية ، ولكنها مسطحة لا تعطى انطباعا عن عمقها وتجسيمها . وبعد كل ما ذكرناه ، يجب ان يكون السبب واضحا : بتصغير الصور الفوتوغرافية ، تقل الابعاد المنظورية المطابقة ، التى تكون عادة صغيرة جدا .

كيف يجب ان ننظر الى اللوحات الفنية

ان ما ذكرناه عن الصور الفوتوغرافية ، ينطبق الى درجة معينة ، على اللوحات الفنية . التى تبدعها ريشة الرسام . اذ انها تبدو اروع ما يمكن . اذا نظرنا اليها من مسافة مناسبة . وفى هذه الحالة فقط ، نشعر بالمنظر المجسم ، ولا تبدو اللوحة مسطحة ، بل تبدو عميقة وبارزة . ومن المفيد ان ننظر الى اللوحة بعين واحدة ايضا ، لا بعينين ، وخاصة عندما تكون اللوحة صغيرة الابعاد .

وفى هذا الصدد ، كتب كاربنتر فى كتابه المذكور آنفا ما يلى : « من المعروف منذ قديم الزمان ، انه عندما ننظر الى اللوحة الفنية بانتباه ، حيث تكون الظروف المنظورية ، والضوء والظلال ومواضع الاجزاء التفصيلية العامة ، مطابقة تماما للحقيقة ، يكون الانطباع المتكون لدينا اكثر حيوية ، اذا نظرنا الى اللوحة بعين واحدة لا بعينين . ومن المعروف ايضا ، ان التأثير يزداد عندما ننظر الى اللوحة من خلال انبوبة لها فتحة معينة ، تحجب عن النظر كل ما هو خارج عن نطاق اللوحة . وقد فسّرت هذه الحقيقة فى السابق ،

بشكل خاطىء تماما . فقد ذكر « باكون » في بعض كتبه : باننا نرى بعين واحدة احسن مما نرى بعينين ، لان الارواح الحيوية تتركز عندئذ في مكان واحد ، وتصبح قوية التأثير ».

ولكن الحقيقة هي اننا عندما ننظر بكلتا العينين ، الى لوحة موضوعة على مسافة معتدلة منا ، نضطر الى الاعتراف بانها مسطحة ، بينما عند النظر اليها بعين واحدة فقط ، فان عقلنا يمكن ان ينقاد بسهولة لانطباع المنظور والضوء والظلال وغير ذلك . وهكذا ، فعندما نركز النظر في اللوحة ، يبدو لنا بعد مدة قصيرة : انها قد اصبحت مجسمة ، او حتى تبدو وكأنها حقيقية .

ان تكامل الصورة يعتمد بالدرجة الاساسية ، على دقة نقل المسقط الحقيقي للجسم على اللوحة . ان افضلية الابصار بعين واحدة ، تعتمد في هذه الحالات ، على قيام العقل الحر ، بالتحكم في اللوحة على هواه ، عندما لا يوجد ما يجبره ، على رؤيتها كلوحة مسطحة » .

ان الصور المصغرة ، الملتقطة للوحات الكبيرة ، كثيرا ما تعطي تجسيما اكثر تكاملا ، مما هو عليه في اللوحات الاصلية . وسوف يفهم القارىء سبب ذلك ، اذا تذكر انه عند تصغير الصورة ، تختصر تلك المسافة الكبيرة عادة ، التي يجب ان ننظر منها الى الصورة ، ولهذا السبب تكتسب الصورة هيئة مجسمة ، وهي على مسافة قريبة من العين .

رسم الاشكال المجسمة على لوحات مسطحة

ان كل ما ذكرناه سابقا ، عن النظر الى الصور الفوتوغرافية ، وكذلك الى اللوحات والرسوم ، هو صحيح في الحقيقة ، ولكن يجب الا نفهم من ذلك ، انه لا توجد هناك طريقة اخرى للنظر الى اللوحات المسطحة ، يمكنها ان تنشىء لدى المشاهد ، انطباع مشاهدة اللوحات المجسمة . ان كل رسام ، اكان يستخدم الالوان الزيتية او اقلام الفحم او آلة التصوير ، يرسم لوحته الفنية ، بحيث تولد انطباعا لدى المشاهد ، بغض النظر عن الطريقة التي سيتبعها المشاهد في النظر الى تلك اللوحة ، لان الرسام لا يمكن ان

يفترض ، بان زوار المعرض سوف ينظرون الى لوحاته بعين واحدة ، ويقيسون المسافة المناسبة للنظر الى كل لوحة .

وتوجد لدى كل رسام او مصور ، امكانيات واسعة لنقل الفراغ المجسم (الثلاثى الابعاد) الى لوحة مسطحة (ذات بعدين) .

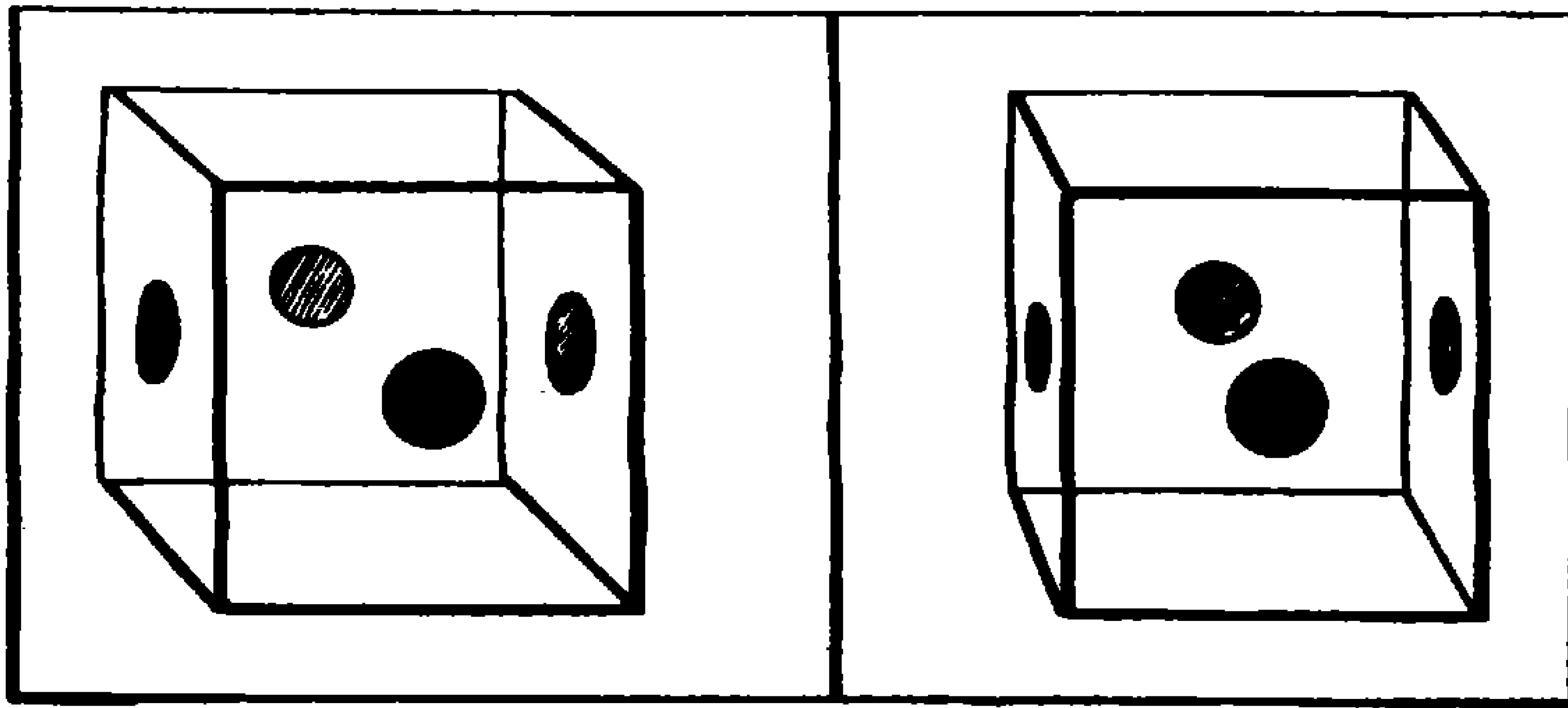
ان عدم تماثل صور الاجسام التى تقع على ابعاد مختلفة : عندما ننظر اليها بكلتا العينين ، لا يمثل بالنسبة لنا : الدلالة الوحيدة على عمق الفراغ . ان امكانية الحكم على عدم تماثل ابعاد مختلف مخططات اللوحة بالنسبة لنا ، تعتمد الى حد بعيد : على ما يسمى بـ « المنظور الجوى » ، الذى يجعل الاجسام البعيدة ، تبدو امامنا اقل وضوحا ، كأنها ملفّعة بضباب الجو الخفيف .

واذا رسمنا المخططات الاكثر بعدا ، بصورة اقل وضوحا وبالوان فاتحة اكثر ، فان كل ذلك بالاضافة الى الحجوم المختلفة ، للاجسام التى تبعد عنا بمسافات مختلفة ، يولد انطباعا عن عمق الفراغ ، بغض النظر عن طريقة مشاهدة اللوحة . وبامكان الرسام ان يخلق ذلك « المنظور الجوى » اذا وحّد بين الاضاءة والالوان الملائمة وبين جلاء الصورة او اللوحة . ويستطيع المصور او الرسام ، ان يحصل على تأثير مماثل ، بواسطة الاختيار المتقن للاضاءة : واستخدام عدسة ملائمة ، ونوع مناسب من الورق ، يساعد على تنوع الالوان والظلال الى درجة كافية . وللتركيز البؤرى الملائم ، اهمية كبيرة فى عملية التصوير الفوتوغرافى . فاذا كان المنظر الامامى حاد الملامح ، وكانت المناظر الاخرى ، الاكثر بعدا واقعة « خارج البؤرة » ، يكفى هذا وحده ، فى حالات كثيرة ، لاعطاء انطباع عن عمق الفراغ . وعلى عكس ذلك ، عندما نقلل من قطر الفتحة ، تصبح جميع المناظر متساوية من حيث حدة الملامح ، وبهذا تتجرد الصورة عن عمقها وتبدو مسطحة .

وبصورة عامة ، اذا كان الرسام ماهرا ، فانه يستطيع ان يؤثر على المشاهد تأثيرا نفسيا ، يجعله يستوعب الصورة المسطحة مثلما يستوعب الصورة المجسمة ، بغض النظر عن الظروف الفسيولوجية للانطباعات البصرية ، واحيانا حتى عند عدم مراعاة قوانين المنظور الهندسى .

ما هو الاستيريوسكوب ؟

بانتقالنا من الصور الى المواد المجسمة ، نطرح على انفسنا السؤال التالى : لماذا تبدو المواد امامنا ، مجسمة لا مسطحة ؟ ان الصورة المنعكسة على شبكية العين ، هى صورة مسطحة. اذن ما الذى يجعل المواد تبدو امامنا بصورة ثلاثية الابعاد (مجسمة) لا بصورة مسطحة ؟ هناك عدة اسباب تتعلق بهذه المسألة . اولا ، ان درجة الأضاءة المختلفة لاجزاء المواد ، تساعدنا فى الحكم على شكل تلك المواد . وثانيا ، الدور الذى يلعبه التوتر الذى نشعر به عندما نكيّف العين لروؤية الاجزاء المختلفة للمادة المجسمة ، التى تبعد عنا بمسافات مختلفة : ان جميع اجزاء الصورة المسطحة ، متساوية البعد عن العين ، بينما تكون اجزاء الصورة المجسمة ، مختلفة البعد عن العين ، ولكى نراها بوضوح ، يجب ان تتكيف العين بشكل مناسب للروؤية . ولكن الامر الذى يقدم لنا خدمة كبيرة هنا ، هو ان صور الجسم الواحد ، المتكونة فى كل عين ، لا تكون متساوية . ويمكن التأكد من ذلك ، اذا نظرنا الى احد الاجسام القريبة ، مرة بالعين اليمنى واخرى بالعين اليسرى ، بصورة متناوبة . ان العينين اليمنى واليسرى ، لا تريان الاجسام بشكل متساو ، اذ ترسم فى كل عين صورة مختلفة ، وهذا الاختلاف ، الذى يفسره عقلنا ، يولد لدينا انطباعا عن التجسيم (لاحظ الشكلين ١٢٠ و١٢٢) .



شكل ١٢٢ : مكعب زجاجى يحتوى على بقع ، كما يبدو لكل من العينين اليسرى واليمنى .

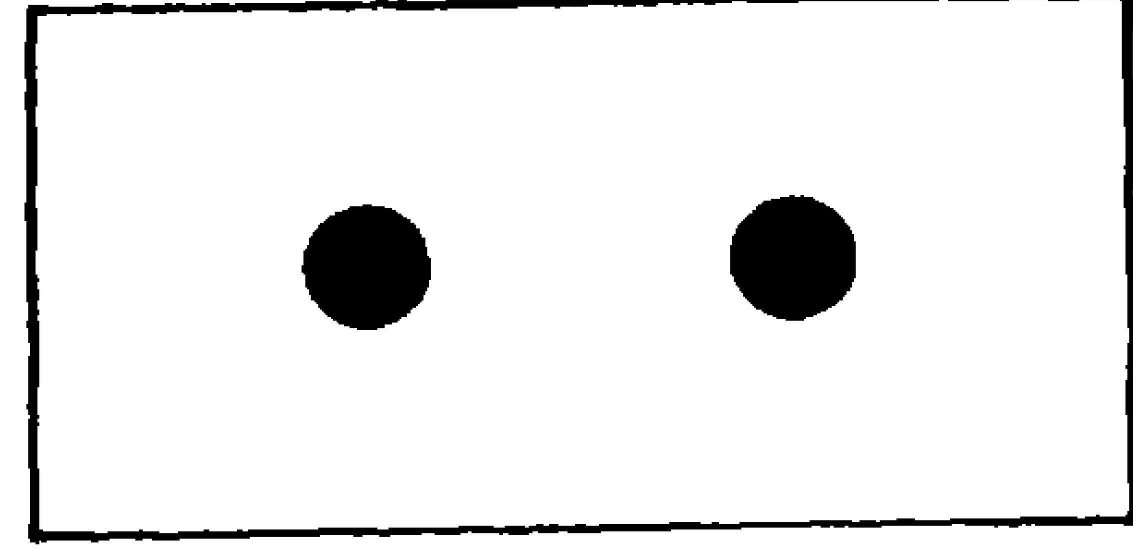
والآن ، لنفرض ان امامنا صورتين لجسم واحد ، الاولى تظهر الجسم كما تراه العين اليسرى ، والاخرى – كما تراه العين اليمنى . فاذا نظرنا الى هاتين الصورتين ، بحيث ترى كل عين الصورة الخاصة بها ، لرأينا بدلا من الصورتين المسطحتين ، صورة واحدة بارزة ومجسمة، حتى انها تفوق في بروزها، المواد المجسمة التى نراها بعين واحدة . وتتم مشاهدة مثل هذه الصور المزدوجة بواسطة جهاز خاص هو الاستيريوسكوب . ان اندماج الصورتين كان يتم فى الاستيريوسكوبات القديمة ، بواسطة مرايا ، اما فى الاستيريوسكوبات الحديثة ، فيتم ذلك بواسطة مواشير زجاجية محدبة ، تكسر الاشعة بحيث عندما نمدها نظريا الى نهايتها ، فان كلتا الصورتين (وقد اصبحتا مكبرتين قليلا بفضل تحدب الموشور) ، تغطيان بعضهما البعض . ان فكرة الاستيريوسكوب بسيطة جدا كما نرى ، ولكن التأثير الرائع الذى يعطيه هذا الجهاز البسيط ، يثير فينا الدهشة والعجب .

ولعل معظم القراء قد شاهدوا بلا شك ، تلك الصور الاستيريوسكوبية ، ذات المشاهد والمناظر الطبيعية المختلفة . ويحتمل ان يكون بعض القراء الآخرين ، قد شاهدوا فى الاستيريوسكوب ، مخططات او رسوم الاجسام ، المعدة لتسهيل تعلّم الهندسة المجسمة . وسوف نتكلم فيما بعد ، عن استخدام الاستيريوسكوب فى بعض الاغراض المعروفة نوعا ما . وسوف نتناول بالشرح ، بعض مجالات استخدام الاستيريوسكوب ،التى اظن ان كثيرا من القراء لم يطلع عليها .

الاستيريوسكوب الطبيعى

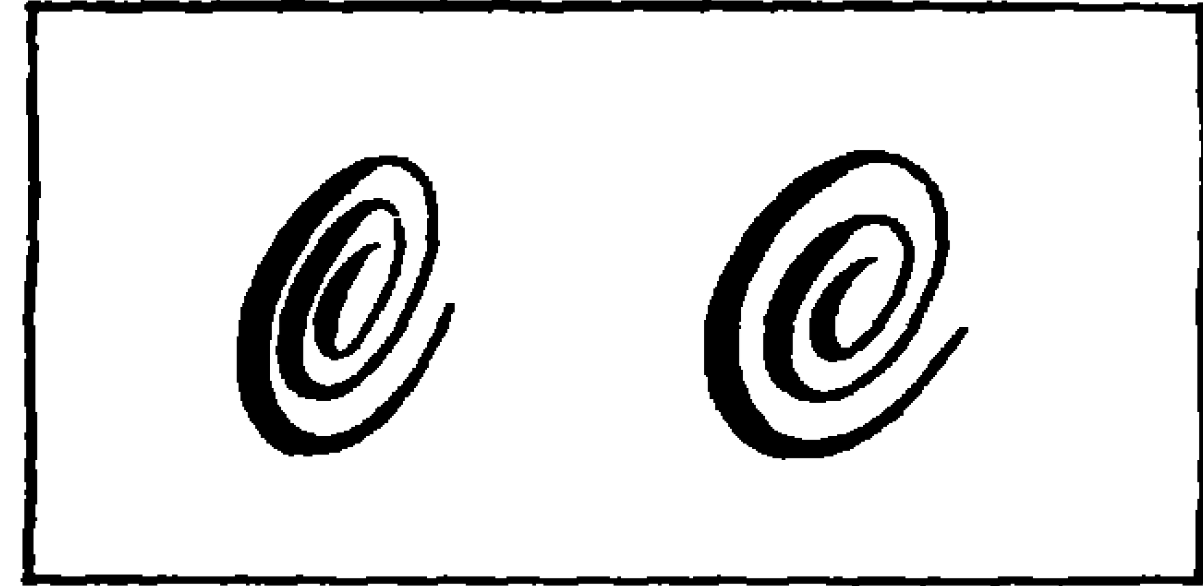
يمكن مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية ، دون الاستعانة باى جهاز كان ، وكل ما فى الامر هنا ، ان نعلّم انفسنا كيف نوجه اعيننا بطريقة مناسبة . وسنحصل عندئذ على نفس النتيجة ، التى نحصل عليها باستخدام الاستيريوسكوب ، مع فارق واحد فقط ، هو ان الصورة فى هذه الحالة لا تتكبّر . ان مخترع الاستيريوسكوب ويتستون ، استخدم

هذه الطريقة الطبيعية بالذات ، في بادئ الامر . وسوف اعرض في هذا البحث ، سلسلة كاملة من الصور الاستيريوسكوبية ، التي تزداد تعقيدا بالتدريج ، وانصح القراء بمحاولة النظر اليها مباشرة؛ بدون استيريوسكوب . وسوف ينجح القراء في القيام بذلك ؛ بعد عدد من التمارين * .

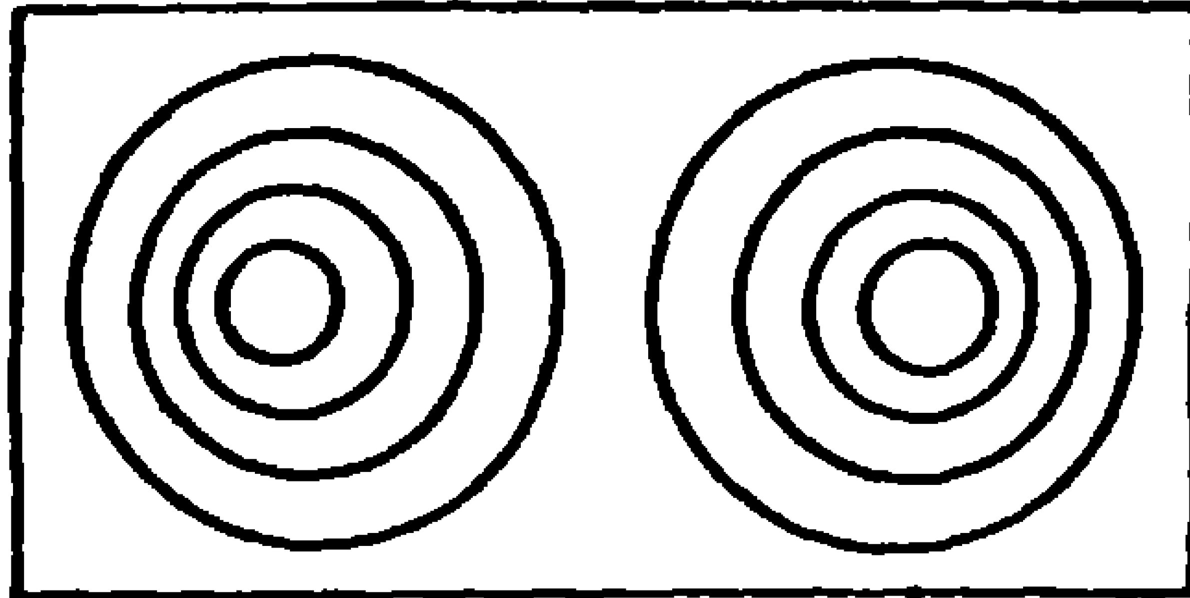


شكل ١٢٣ : اذا حدقت النظر لعدة ثوان ، في المسافة الموجودة بين النقطتين السوداوين ، فسيبدو لك وكأن النقطتين قد اندمجتا في نقطة واحدة .

لنبدأ بالشكل ١٢٣ ـ الذي يمثل نقطتين سوداوين . ضع النقطتين امام عينيك ، ثم حدق لعدة ثوان في الفراغ الموجود بينهما ، وفي نفس الوقت حاول جهدك ان تنظر الى جسم يفترض انه موجود بعيدا وراء الشكل . وسوف ترى عاجلا ، ان هناك اربع نقط بدلا من نقطتين ، اي ان النقطتين تضاعفتا . ولكن بعدئذ تبتعد النقطتان الطرفيتان

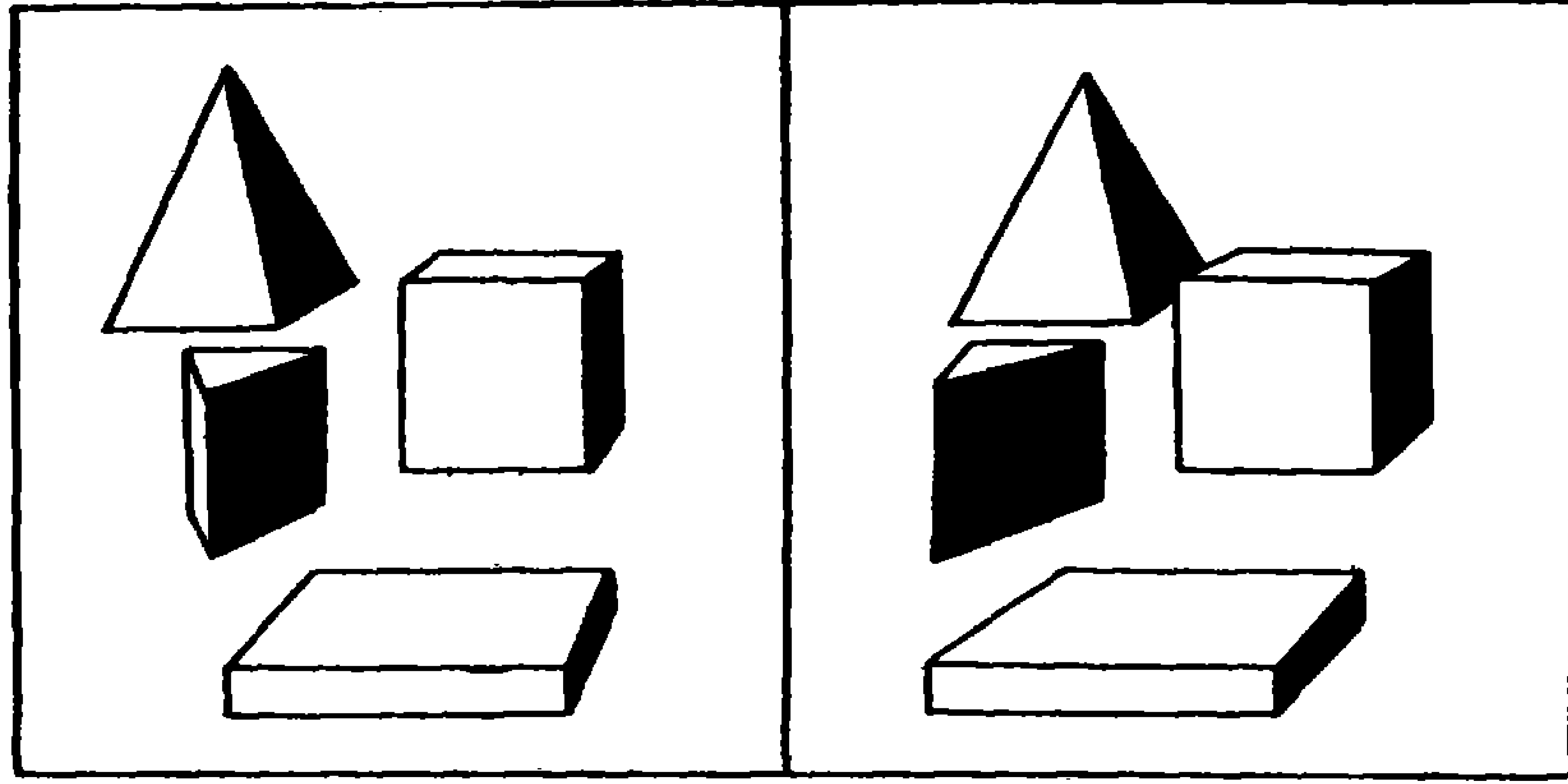


شكل ١٢٤ : انظر الى هذين الحلزونين بنفس الطريقة السابقة . وبعد ان ترى انهما قد اندمجا في حلزون واحد ، انتقل الى التمرين الذي يليه .

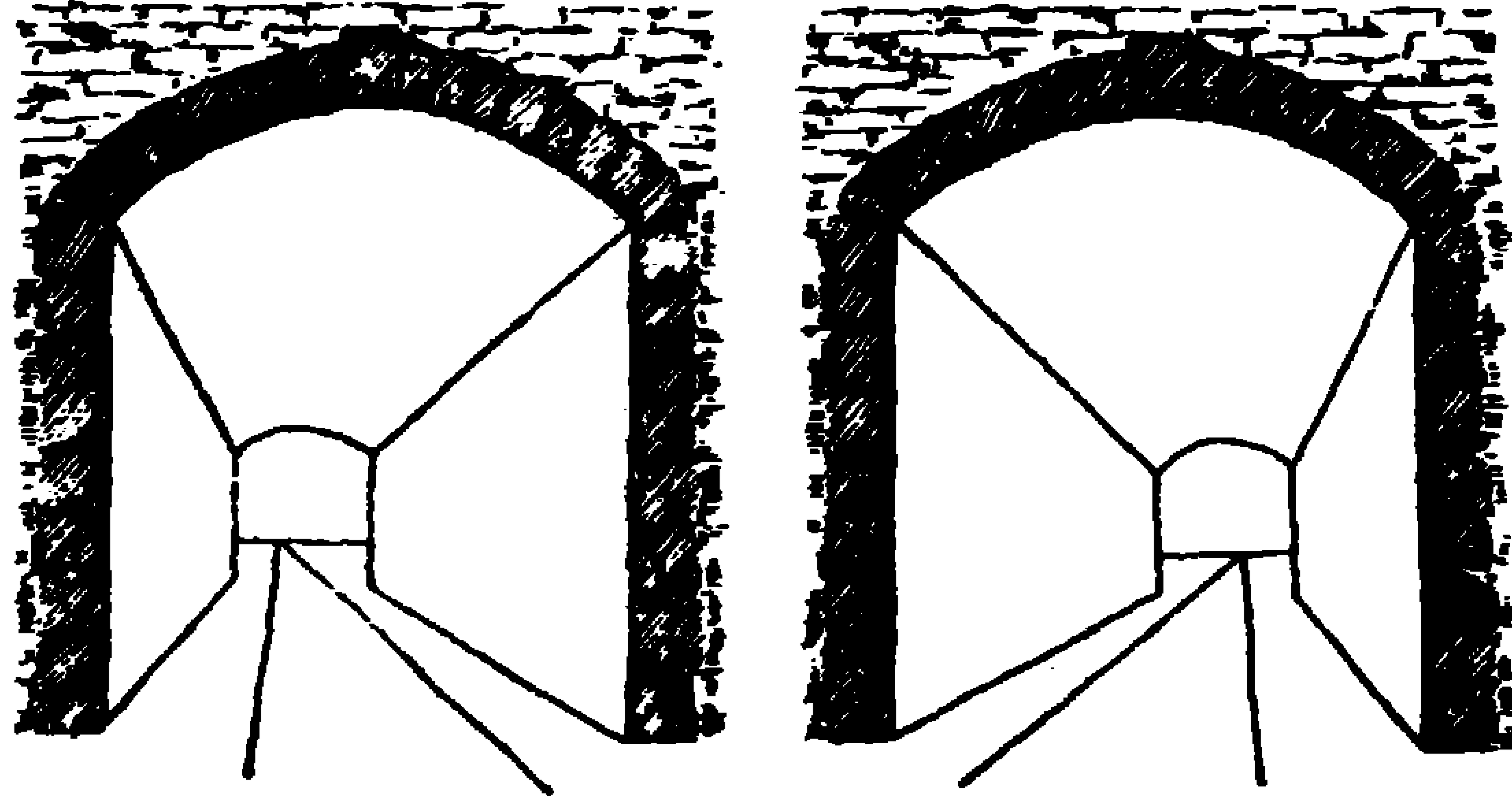


شكل ١٢٥ : عندما يندمج هذان الشكلان؛ سترى شيئا يشبه باطن الماسورة الممتدة الى مسافة بعيدة.

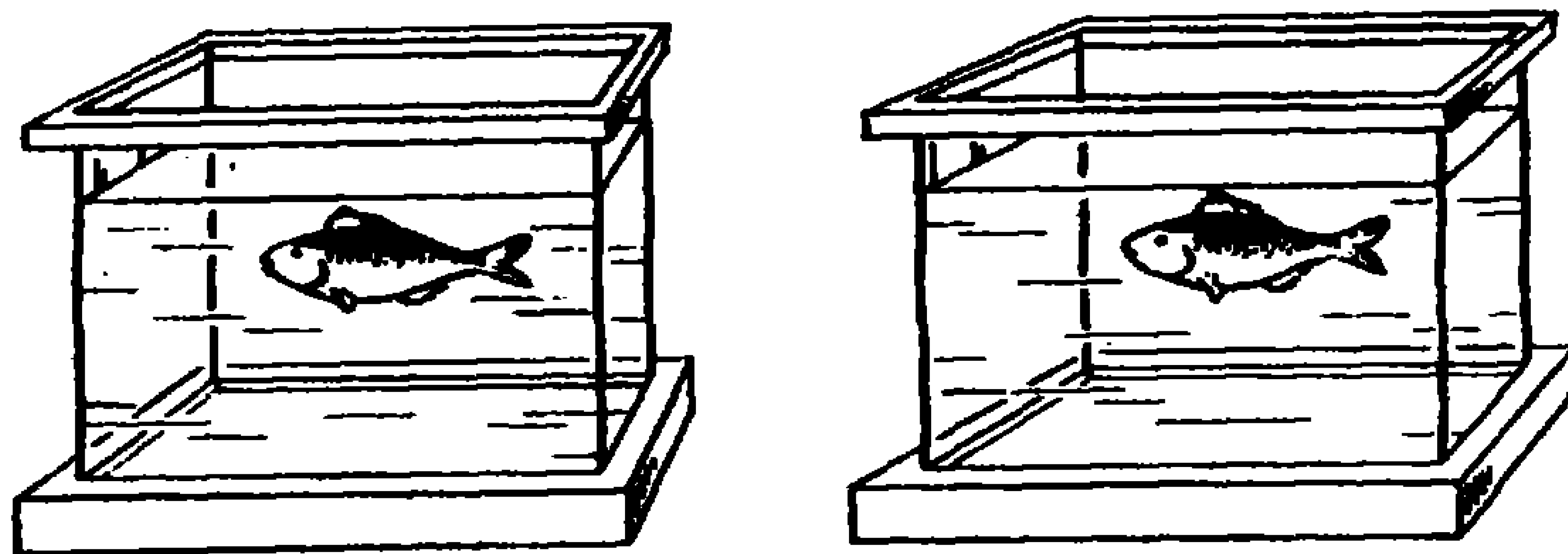
* يجب ان ننبه القراء الى ان المقدرة على النظر استيريوسكوبيا – وحتى النظر في الاستيريوسكوب – لا تتوفر لدى كافة الناس ، لان بعضهم (مثل الحول او المعتادين على العمل بعين واحدة) ليست لهم قابلية على ذلك بالمرة . وتظهر هذه القابلية عند الآخرين بعد تمارين مستمرة ، واخيرا ، فبالنسبة للقسم الباقي من الناس ، وهم على الاغلب من الشباب ، فانهم يتعلمون ذلك بسرعة – في ظرف ربع ساعة .



شكل ١٢٦ : عندما تندمج هذه الاجسام الهندسية الشكل . تصبح وكأنها معلقة فى الهواء .



شكل ١٢٧ : عندما يندمج هذان الشكلان، تظهر امام العين صورة دهليز (ممر) طويل جدا.



شكل ١٢٨ : سمكة صغيرة فى حوض الاسماك .

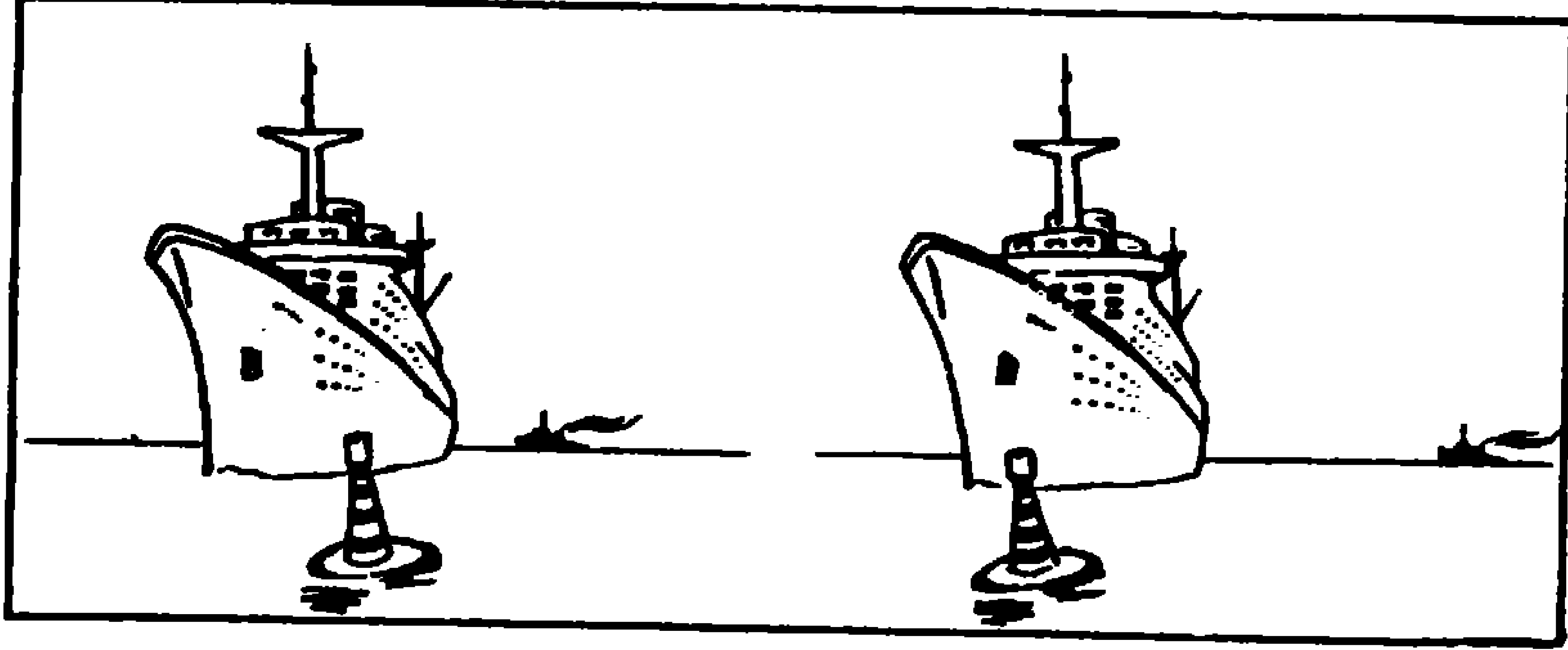
بعيدا ، بينما تقترب النقطتان الداخليتان من بعضهما ، ثم تندمجان في نقطة واحدة . واذا اعدت نفس التجربة ، مستخدما الشكلين ١٢٤ و١٢٥ ، فسوف ترى في الحالة الاخيرة ، وفي لحظة الاندماج ، ان امامك منظرا داخليا لماسورة طويلة ، تمتد الى مسافة بعيدة .

وبعد الانتهاء من ذلك ، تستطيع الانتقال الى الشكل ١٢٦ ، وهنا يجب ان تظهر امامك اجسام هندسية معلقة في الهواء . اما الشكل ١٢٧ ، فيظهر امامك مثل ممر طويل لبناية حجرية ، او نفق . اما في الشكل ١٢٨ ، فتستطيع التمتع بمنظر الزجاج الشفاف في حوض الاسماك . واخيرا تبدو امامك في الشكل ١٢٩ ، لوحة كاملة – منظر طبيعي للبحر .

ان تعلم هذه الطريقة للنظر المباشر الى الصور المزدوجة ، هو امر سهل نوعا ما . وقد اتقن الكثير من اصدقائي هذا الفن ، في مدة قصيرة من الزمن ، بعد عدد قليل من المحاولات . وباستطاعة الاشخاص المصابين بقصر النظر او بعد النظر ، الذين يستعملون النظارات ، ان يشاهدوا هذه الصور ، دون ان ينزعوا نظاراتهم ، مثلما يشاهدون اية لوحة اخرى . حاول ان تقرب الصور او تبعدها عن ناظريك ، الى ان تجد المسافة المناسبة . وعلى كل حال ، لا بد من اجراء التجربة بوجود اضاءة جيدة – لان ذلك يحقق النجاح الى درجة كبيرة .

وبعد تعلم النظر الى الرسوم المبينة هنا ، بدون استيريوسكوب ، يمكنك الاستفادة من هذه الخبرة المكتسبة ، عندما تريد مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية بصورة عامة ، بدون استخدام جهاز خاص . ويمكن كذلك القيام بمحاولة النظر الى تلك الصور الاستيريوسكوبية المبينة فيما بعد (على الصفحتين ٢٢٤ و٢٣٢) ، وذلك بالعين المجردة . ولا ضرورة للولع الشديد بهذه التمارين ، لان ذلك يتعب العين .

واذا لم يحالفك الحظ على اكتساب قابلية التحكم في عينيك ، فيمكنك عند عدم توفر الاستيريوسكوب ، ان تستخدم عدستي النظارة الخاصة ببعد البصر ، ويجب تثبيتهما



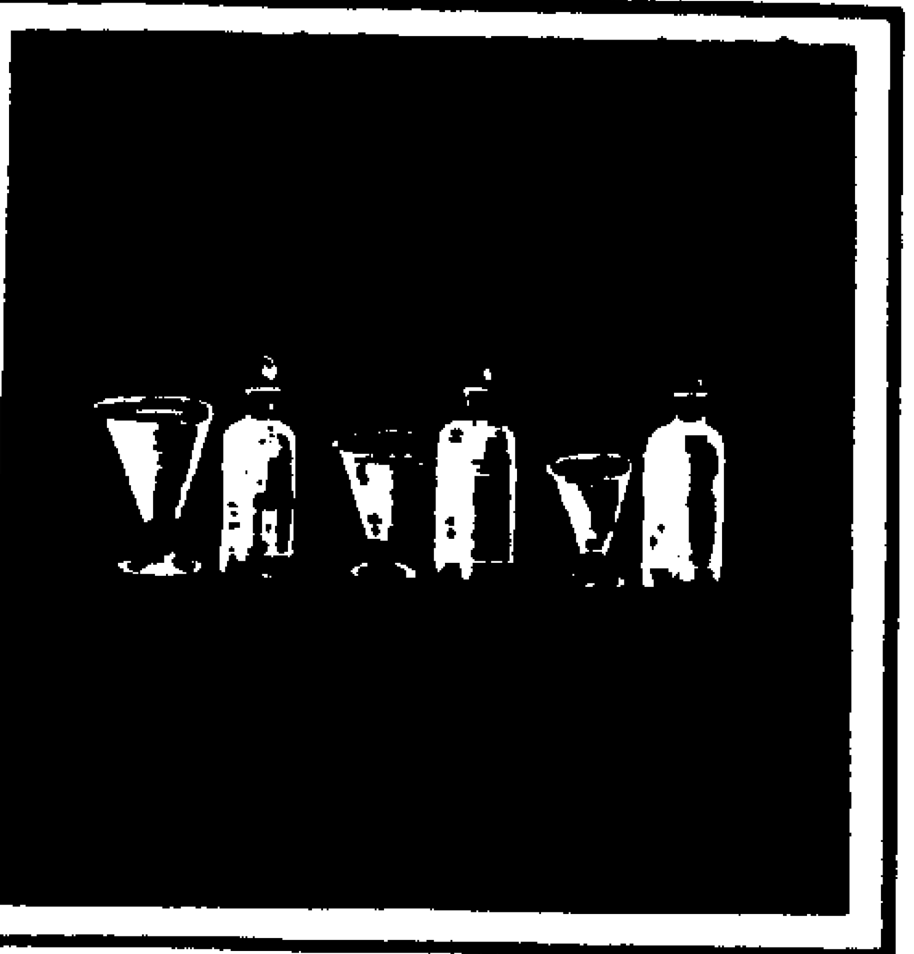
شكل ١٢٩ : صورة استيريوسكوبية (مجسمة) لمنظر طبيعى البحر .

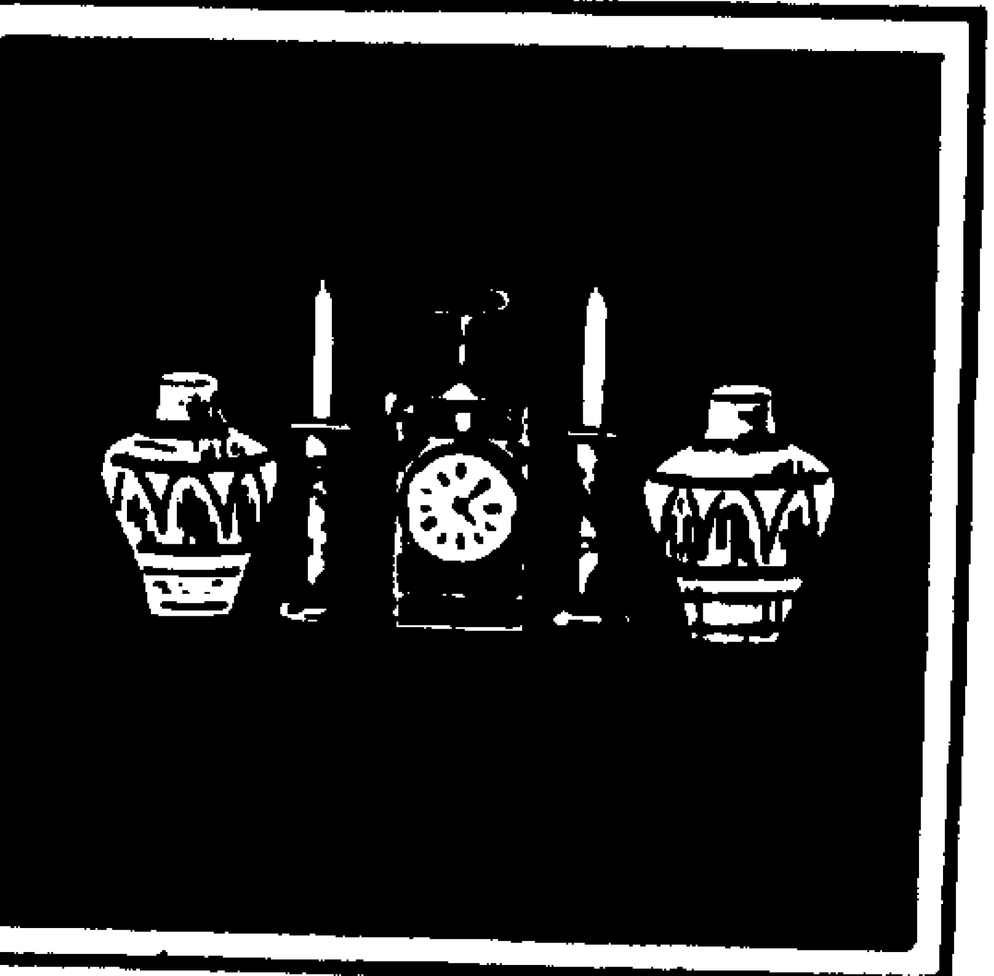
تحت فتحة محفورة فى قطعة من الورق المقوى ، بحيث يمكن النظر من خلال الحافة الداخلية للعدستين فقط ؛ ويجب ان نضع بين الصورتين حاجزا ما . وسوف يساعدك هذا الاستيريوسكوب البسيط ، على بلوغ الهدف تماما .

بعين واحدة وباثنتين

يبين الشكل ١٣٠ (فى الزاوية اليسرى العليا) صورتين لثلاث قنان زجاجية ، تبدو كأنها متساوية الحجوم . ومهما ركزنا انتباهنا عند النظر اليها، فلن نجد اى اختلاف فى حجوم تلك القنانى . بينما يوجد هناك اختلاف كبير جدا ، فى حجوم القنانى المذكورة . والقنانى تبدو امامنا متساوية ، لسبب واحد فقط ، هو وقوعها على مسافة مختلفة من العين او من آلة التصوير ، اذ ان القنينة الكبيرة ، ابعد من القنينتين الصغيرتين . ولكن اىّ القنانى الثلاث اقرب ، وايها ابعد ؟ لا يمكن ان نجيب على هذا السؤال ، بمجرد النظر الى الصور .

ولكن المسألة تصبح سهلة الحل ، اذا لجأنا الى استخدام الاستيريوسكوب ، او الابصار الاستيريوسكوبى ، بدون استخدام اى جهاز ، كما ذكرنا سابقا . عندئذ سوف نرى بوضوح ، ان القنينة الموجودة فى اقصى اليسار ، هى ابعد بكثير من القنينة


شکل ۱۳۰

الوسطى ، التي تكون بدورها ابعد من القنينة اليمنى . والنسبة الحقيقية بين حجوم القناني الثلاث ، مبينة في الصورة الواقعة في الزاوية اليمنى العليا من الشكل .

وتوجد في اسفل الشكل ١٣٠ ، حالة اخرى تدعو الى مزيد من العجب . نرى في الشكل ، الى اليسار ، صورتين تظهر في كل منهما مزهريتان وشمعتان وساعة واحدة ، ويبدو ان المزهريتين متشابهتان وكذلك الشمعتين ، تشابها تاما . وفي الحقيقة . هناك اختلاف كبير بين كل زوج منهما ، من حيث الحجوم : ان المزهرية اليسرى ، اطول من اليمنى بمرتين تقريبا ، اما الشمعة اليسرى ، فهي اخفض من الساعة ومن الشمعة اليمنى بكثير . وعندما ننظر الى نفس الصور استيريوسكوبيا ، نجد في الحال سبب هذا التغيّر : ان تلك المواد ليست موضوعة في صف واحد ، ولكنها موضوعة على مسافات مختلفة ، بحيث وضعت الكبيرة منها ، بعيدا ، اما الصغيرة فوضعت قريبا .

وهنا تبدو ، بشكل مقنع جدا ، افضلية الابصار الاستيريوسكوبي « بعينين » ، على الابصار « بعين واحدة » .

طريقة سهلة للكشف عن التزوير

لدينا شكلان متشابهان تماما ، وهما مربعان اسودان متساويان . وعندما ننظر اليهما بواسطة الاستيريوسكوب ، نرى مربعا واحدا ، لا يختلف باي شيء ، عن كل من المربعين على حدة . فاذا وجدت في مركز كل مربع ، نقطة بيضاء ، فانها ستظهر بالطبع على المربع الذي سنراه في الاستيريوسكوب . ولكننا اذا ازحنا النقطة الموجودة على احد المربعين ، ازاحة قليلة عن المركز ، فسوف تنتج من ذلك ظاهرة غير متوقعة نوعا ما : ستظهر في الاستيريوسكوب كالسابق ، نقطة واحدة ، ولكنها لا تقع على نفس المربع بالذات ، بل امامه او وراءه . وان وجود اي اختلاف طفيف بين المربعين ، يكفي لاعطاء انطباع عن عمق الرسم ، عندما ننظر اليه بواسطة الاستيريوسكوب .

وهذا يزودنا بطريقة بسيطة . لاكتشاف تزوير الاوراق والوثائق المصرفية . وكل ما يتطلبه الامر . ان نقوم بوضع الورقة النقدية المشكوك فيها ، الى جانب الورقة النقدية

الحقيقية ، في داخل الاستيريوسكوب ، وعندما ننظر اليهما ، فسوف نكتشف التزوير حالا ، مهما كان المزور بارعا في فنه : ان اى اختلاف طفيف يطرأ على حرف واحد او على شرطة واحدة ، سيتضح للعين في الحال لان ذلك الحرف او تلك الشرطة ، سيظهران اما امام الورقة النقدية او خلفها * .

الابصار عند العمالقة

عندما يكون الجسم واقعا على مسافة بعيدة جدا منا ، تزيد على ٤٥٠ م ، لا يكون للمسافة الموجودة بين عينينا ، اى تأثير على تفاوت الانطباعات البصرية . ولهذا السبب ، تبدو المباني البعيدة ، والجبال والمناظر الطبيعية النائية ، امامنا بهيئة مسطحة . ولهذا السبب بالذات ، تبدو كافة النجوم والكواكب وكذلك القمر وكأنها تقع على مسافة واحدة ، في حين ان الاخير اقرب بكثير من الكواكب . والكواكب بدورها اقرب من النجوم الثابتة ، الى درجة لا تقاس .

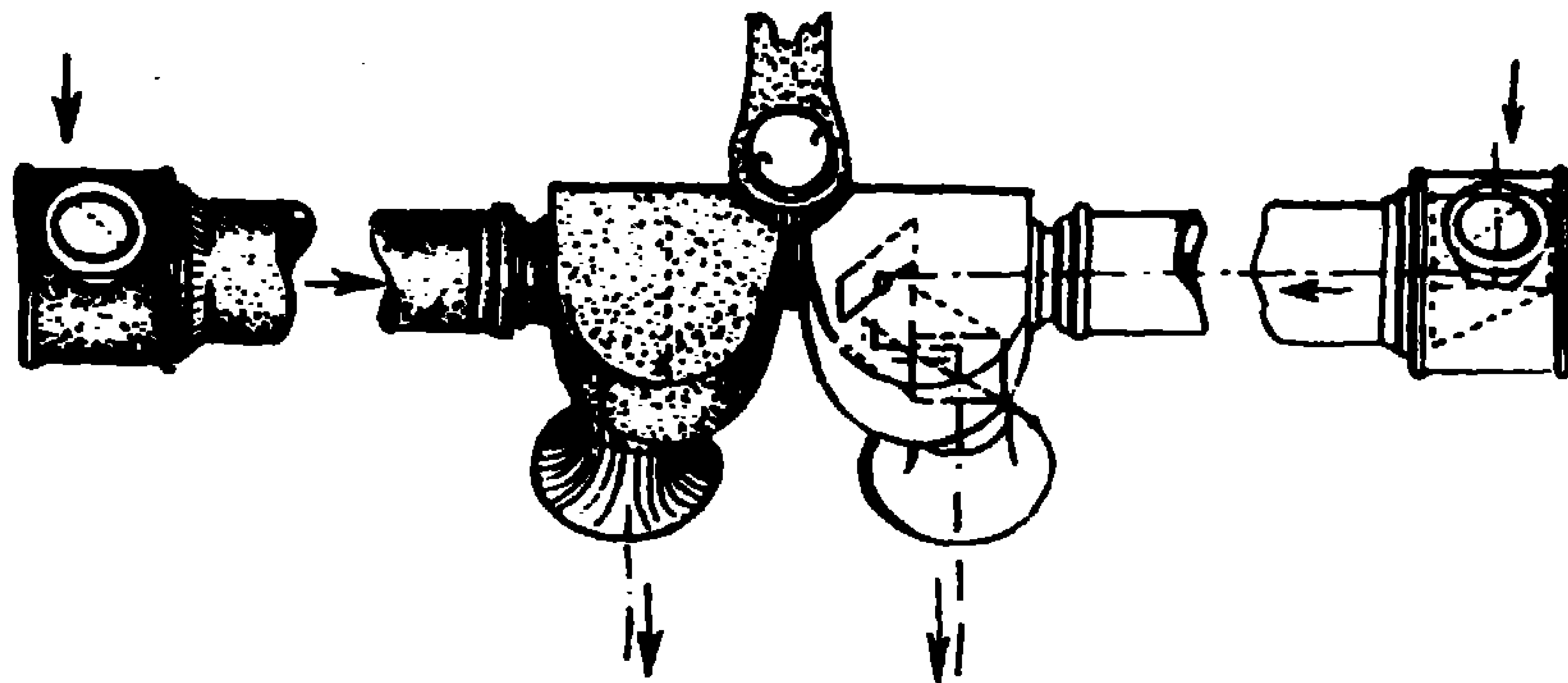
وبصورة عامة ، ليست لنا قابلية لتمييز بروز كافة الاجسام الواقعة على مسافة تزيد على ٤٥٠ م ، لانها تبدو امام العينين اليمنى واليسرى بصورة متماثلة . ذلك لان المسافة التي تفصل العينين عن بعضهما ، ومقدارها ٦ سم ، تكون ضئيلة جدا . عند مقارنتها بمسافة قدرها ٤٥٠ م . ومن الواضح ان الصور الاستيريوسكوبية ، الناتجة في مثل هذه الظروف ، تكون متماثلة تماما ، ولا يمكن ان تعطي في الاستيريوسكوب ، صورة بارزة (مجسمة) .

---

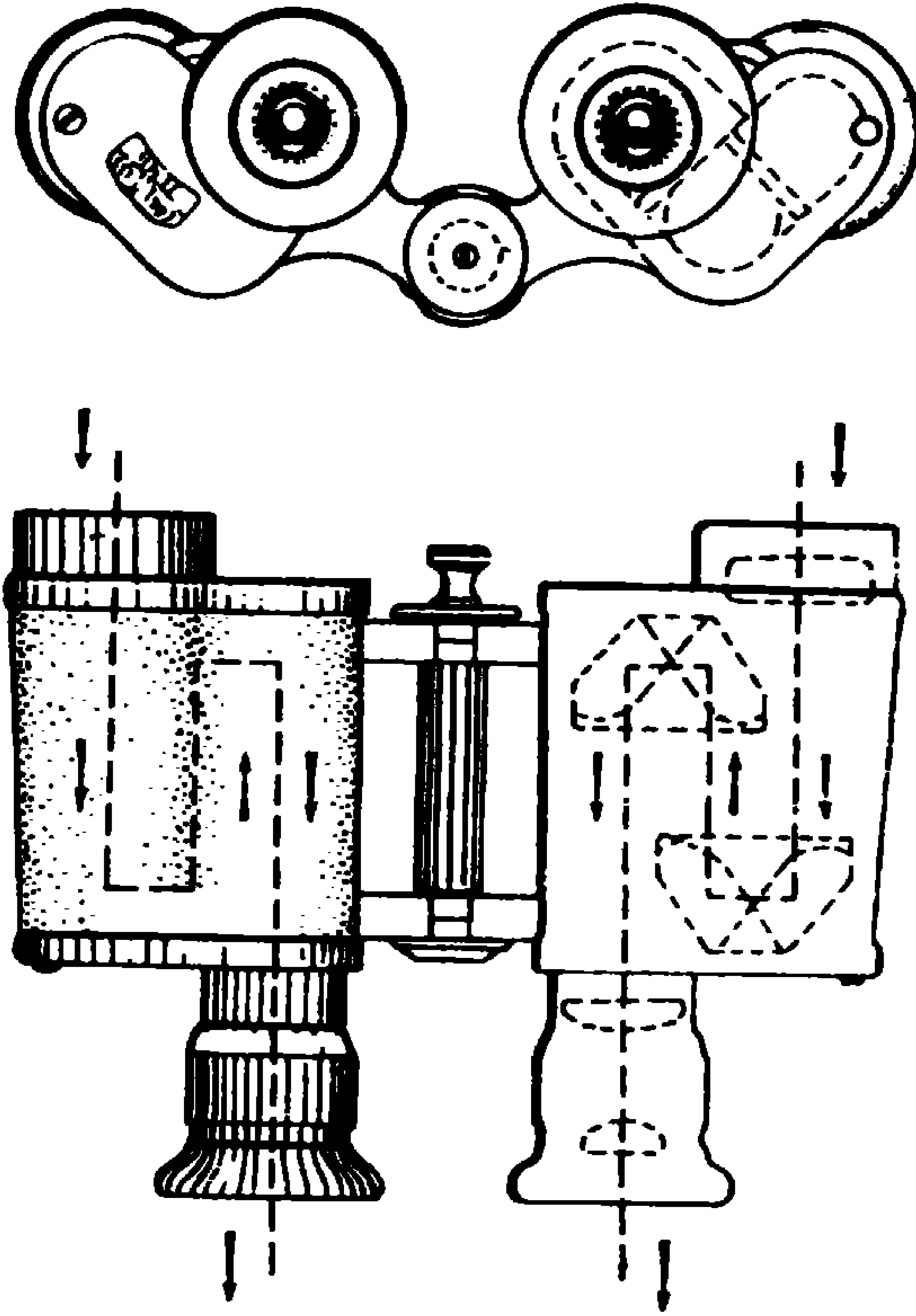
* ان هذه الفكرة التي أتى بها العالم دوفيه لاول مرة في منتصف القرن التاسع عشر ، لا تصلح التطبيق بالنسبة لكافة الاوراق النقدية المتداولة في الوقت الحاضر ، ذلك لان هذه الاوراق تطبع بصورة تكنيكية حديثة . بحيث لا تعطي الرسوم الناتجة ، عندما ننظر اليها بواسطة الاستيريوسكوب ، اى انطباع عن الصورة المسطحة ؛ حتى اذا كانت كلتا الورقتين النقديتين حقيقيتين . ولكن طريقة « دوفيه » ، ملائمة جدا لغرض التمييز بين مسودتين مطبوعتين لصفحة من كتاب ، عندما تطبع احداهما من حروف مركبة من جديد .

ولكن يمكن تدارك الامر : اذا صورنا الاجسام البعيدة من نقطتين ، يكون البعد المتبادل بينهما ، اكبر من المسافة الطبيعية بين العينين . وعند النظر الى مثل هذه الصور في الاستيريوسكوب ، نرى المنظر الطبيعي ، في الوضعية التي كنا سنراه فيها لو كانت المسافة التي بين عينينا ، اكبر كثيرا مما هي عليه في العادة . وهنا يكمن سر الحصول على صور استيريوسكوبية للمناظر الطبيعية . وعادة ينظر الى هذه الصور ، من خلال مواشير مكبّرة (محدبة الجوانب) ، بحيث كثيرا ما تظهر تلك الصور الاستيريوسكوبية البارزة امامنا بحجمها الطبيعي ، ويكون تأثيرها مدهشا .

ومن المحتمل ان يكون القارئ قد ادرك ، انه من المعقول صنع جهاز يتكون من انبوبين بصريّين ، يمكن من خلالهما رؤية المنظر الطبيعي المعيّن وهو بارز كما هو عليه في الطبيعة ، لا في الصورة . ان مثل هذه الاجهزة ـ انابيب الابصار الاستيريوسكوبية ـ موجودة في الواقع ، ويتكون كل جهاز من انبوبين ، تفصلهما مسافة اكبر من المسافة الطبيعية الموجودة بين العينين ، وتسقط كلتا الصورتين على شبكيّتي العينين ، بواسطة مواشير عاكسة (شكل ١٣١) . ومن الصعب وصف الشعور الذي ينتاب الانسان ، عندما ينظر في مثل هذه الاجهزة البصرية . انها عجيبة حقا ! اذ اننا نرى ان الطبيعة قد بدلت مظهرها . فالجبال البعيدة تصبح بارزة ، والاشجار والصخور والمباني والسفن التي في البحر ، كلها تظهر بصورة مجسمة وبارزة ؛ وقد امتدت في



شكل ١٣١ : منظار استيريوسكوبي .



شكل ١٣٢ : منظار موشوری .

فضاء رحب لا نهاية له . ونرى مباشرة كيف تتحرك السفينة البعيدة ، التى تبدو ساكنة عندما ننظر اليها بمنظار عادى . وبهذا الشكل ، تبدو المناظر الطبيعية الارضية امامنا ، مثلما يراها العمالقة . الذين نسمع عنهم فى القصص الخرافية .

واذا كانت قوة تكبير الانبوبين هى ١٠ مرات ، والمسافة بين العدسات تزيد على المسافة الطبيعية بين الحدقتين بمقدار ٦ مرات (اى تساوى ٥ر٦×٦ = ٣٩ سم) ، فستكون الصورة المرئية اكبر حجما بمقدار ٦×١٠ = ٦٠ مرة ، مما هى عليه عند النظر بالعين المجردة . حتى ان الاجسام التى تبعد بمقدار ٢٥ كم عن المشاهد ، تبدو واضحة البروز .

وبالنسبة لمسّاحي الارض والبحارة ورجال المدفعية والسياح ، تكون هذه الانابيب البصرية عظيمة الفائدة وخاصة اذا كانت مزودة بجهاز تعيين المدى الذى يمكن بواسطته تقدير المسافات . ان المنظار الموشورى كذلك ، يعطى نفس التأثير لان المسافة بين عدستيه اكبر من المسافة الطبيعية بين العينين (شكل ١٣٢) . ويكون الامر معكوسا ، فى المناظير المستخدمة فى المسارح ، حيث تكون المسافة المذكورة اصغر مما هى عليه فى الحالة السابقة ، وذلك كى تظهر الديكورات المسرحية بالشكل الملائم .

الكون فى الاستيريوسكوب

اذا وجّهنا انبوب الابصار الاستيريوسكوبى ، نحو القمر او نحو اى كوكب او نجمة ، فاننا سوف لانرى اية تضاريس هناك . وهذا هو المتوقع . اذ ان الابعاد او المسافات الكونية ، هائلة جدا حتى بالنسبة لانبوب الابصار الاستيريوسكوبى . وبعد ، فان المسافة التى تفصل بين عدستى الانبوب المذكور ، والتى تتراوح بين ٣٠ و ٥٠ سم ، هى غير ذات قيمة ، بالنسبة للمسافة بين الارض والكواكب الاخرى . واذا استطعنا صنع جهاز ، تكون المسافة بين انبوبيه ، مقاسة حتى بعشرات او بمئات الكيلومترات ، فانه سوف لا يعطى اى تأثير عند مراقبة الكواكب ، التى تبعد عنا بعشرات الملايين من الكيلومترات .

وهنا نستعين مرة اخرى بالتصوير الاستيريوسكوبى . لنفرض اننا صوّرنا امس احد الكواكب ، ثم اعدنا تصويره اليوم ثانية . ان كلتا الصورتين ستلتقطان من نقطة واحدة على سطح الارض ، ولكن من نقاط مختلفة بالنسبة للمنظومة الشمسية لان الارض خلال ذلك اليوم ، تكون قد قطعت اثناء دورانها ، ملايين الكيلومترات . وهكذا ، فان الصورتين بطبيعة الحال ، سوف لا تكونان متماثلتين . واذا نظرنا الى مثل هذه الصور بعد وضعها داخل الاستيريوسكوب ، فستظهر امامنا عندئذ ، صور مجسمة مسطحة .

اذن ، يمكننا استخدام حركة الارض حول مدارها ، للحصول على صور للكواكب ،

مأخوذة من نقطتين تفصلهما مسافة بعيدة للغاية ، وسوف تكون هذه الصورة ، بمثابة صور استيريوسكوبية . اذا تصورنا وجود عملاق له رأس كبير جدا ، بحيث تكون المسافة الواقعة بين عينيه ، مقدرة بملايين الكيلومترات ، سندرك عندئذ قيمة النتائج المدهشة التي يتوصل اليها الفلكيون باستخدام التصوير الاستيريوسكوبي .

وعندما ننظر الى الصور الاستيريوسكوبية للقمر ، فاننا نرى جباله واضحة المعالم وبارزة الى درجة ، جعلت بامكان العلماء قياس ارتفاعاتها .

ويستخدم الاستيريوسكوب في الوقت الحاضر لاكتشاف كواكب جديدة ، وخاصة الكواكب الصغيرة (الكويكبات) ، التي تدور باعداد كبيرة ، بين مداري المشتري والمريخ . وفي الماضي القريب ، كان اكتشاف احد تلك الكويكبات ، يعتبر عملا من قبيل الصدف السعيدة . اما الآن ، فيكفي ان نقارن بين صورتين استيريوسكوبيتين ، لمنطقة معينة من السماء ، تم التقاطهما في موعدين مختلفين ، كي نجد الكويكب في الحال فيما اذا كان موجودا في تلك المنطقة من السماء . اذ انه سيكون متميزا عن بقية الاجرام السماوية .

ويمكن بواسطة الاستيريوسكوب معرفة الاختلاف بين مواقع الاجرام السماوية ، وكذلك الاختلاف في سطوعها . وهذا يضع امام الفلكي ، طريقة سهلة ومريحة لاكتشاف ما يسمى بالنجوم المتغيرة ، التي تغيّر من سطوعها بصورة دوريّة . فاذا ظهر في صورتين فلكيتين ، ان نجما ما قد بدا غير متماثل السطوع ، فان الاستيريوسكوب يظهر للفلكي في الحال ، موقع ذلك النجم المتغيّر السطوع .

واخيرا ، امكن الحصول على صور استيريوسكوبية للسديم (اندروميد واريون) . ولما كانت المنظومة الشمسية صغيرة جدا بالنسبة لالتقاط مثل هذه الصور ، فقد استفاد الفلكيون من حركة انتقال منظومتنا الشمسية بين النجوم ، للقيام بعملية التصوير . اذ انه بفضل هذه الحركة في الفضاء الكوني ، نستطيع دائما رؤية النجوم الكونية من نقاط ابصار تتجدد مواقعها باستمرار . وبمرور فترة زمنية كافية ، يصبح هذا الاختلاف واضحا ، حتى بالنسبة لآلة التصوير الفوتوغرافي . وبقيامنا بالتقاط صورتين ، تفصلهما فترة زمنية طويلة ، يمكننا عندئذ ان ننظر اليهما بواسطة الاستيريوسكوب .

الابصار بثلاث عيون

سيندهش القارئ عندما يقرأ هذا العنوان ويتساءل : الابصار بثلاث عيون ؟ ! وهل باستطاعة الانسان الحصول على عين ثالثة ؟

تصوّر اننا سنتحدث عن امكانية الابصار بهذا الشكل . ان العلم لا يستطيع تزويد الانسان بعين ثالثة ، ولكنه يستطيع ان يجعلنا نرى الجسم ، كما لو كنا في الحقيقة ، ننظر اليه بثلاث عيون .

نشير في بداية الحديث ، الى ان باستطاعة الاعور مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية ، والحصول منها على انطباع عن بروزها ، لا يمكنه الحصول عليه مباشرة في الحياة العادية . ولهذا الغرض ، يجب ان نعرض على الشاشة ، صورا مخصصة للعينين اليمنى واليسرى ، بحيث تحل احداها محل الاخرى بسرعة . اذ ان الشيء الذى يراه صاحب العينين في وقت واحد ، يراه الاعور هنا ، بالتتالى وبتغيّر سريع . ولكن النتيجة تكون واحدة لان الانطباعات البصرية السريعة التغيّر ، تندمج ايضا في شكل واحد ، كالانطباعات الحاصلة في وقت واحد * .

واذا كان الامر كذلك ، فان باستطاعة الشخص الذى له عينان ، ان يرى في وقت واحد ما يلى : عند الابصار بعين واحدة ، يرى صورتين متغيرتين بسرعة ، ويرى بالعين الاخرى صورة ثالثة ، ملتقطة من نقطة ابصار ثالثة .

وبعبارة اخرى ، تتكون للجسم الواحد ثلاث صور ، تتناسب مع ثلاث نقاط مختلفة ، كما لو كانت تلك النقاط هي ثلاث عيون بشرية . ثم تقوم صورتان من هذه الصور ، بتغيّرها السريع ، بالتأثير على عين واحدة من عيني المراقب . وعند التغيّر

---

* ان ذلك التجسيم المدهش للافلام السينمائية ، الذى نراه في بعض الاحيان ، يمكن ان يعود الى هذا السبب ، بالاضافة الى الاسباب المذكورة اعلاه . فاذا اهتزت آلة العرض السينمائية اهتزازا بسيطا اثناء عرض الفلم (كما يحدث في الغالب ، نتيجة لتشغيل آلية تدوير الشريط) ، تكون الصور غير متطابقة ، وعند تغير الصور السريع على شاشة السينما ، فانها تندمج في عقلنا بهيئة مجسمة .

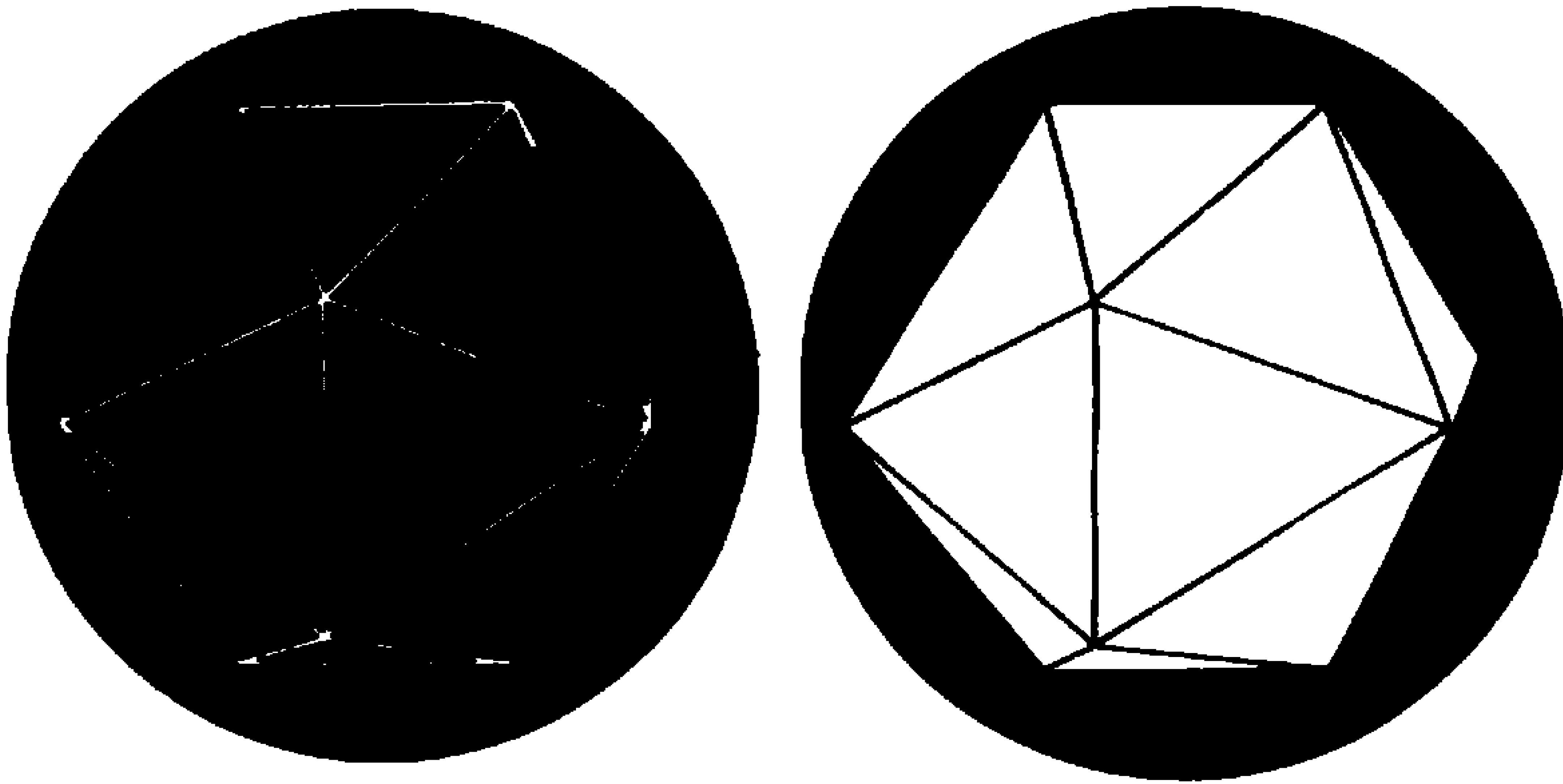
السريع ، تتوحد الانطباعات التي تعطيها ، وتشكل صورة مجسمة واحدة . وينضم الى هذه الصورة ، انطباع ثالث ، ناتج عن العين الاخرى ، التي تنظر الى الصورة الثالثة .

وفي هذه الظروف ، بالرغم من اننا ننظر بعينين اثنتين فقط ، الا اننا نحصل على انطباع يشابه تماما ، الانطباع الذى كنا سنحصل عليه لو نظرنا بثلاث عيون . ويكون التجسيم فى هذه الحالة على درجة عالية من الجودة .

ما هو اللمعان ؟

ان الصورتين الاستيريوسكوبيتين المبينتين فى الشكل ١٣٣ ، تمثلان جسمين متعددى السطوح : الاول اسود اللون موضوع على سطح ابيض ، والآخر ابيض اللون موضوع على سطح اسود . ماذا عسانا ان نرى ، لو نظرنا الى هاتين الصورتين بواسطة الاستيريوسكوب ؟ من الصعب التكهن بذلك مسبقا . لنقرأ ما كتبه هيلمهولتز :

« عندما يكون احد سطوح الصورة الاستيريوسكوبية ، ابيض اللون ، والسطح الآخر اسود ، فان الصورة الموحدة تبدو لامعة ، حتى اذا طبعت على ورق اكمد (عاتم). ان المخططات الاستيريوسكوبية لنماذج البلّور (المجهزة بهذا الشكل) تحدث لدى



شكل ١٣٣ : بريق استيريوسكوبى . باندماج هذين الشكلين عند النظر اليهما بالاستيريوسكوب ، تتكون صورة بلورة ساطعة على خلفية سوداء .

المشاهد انطباعا ، كما لو كان النموذج مجهزا من الجرافيت اللامع . وبفضل هذه الطريقة ، تظهر المياه والاوراق فى الصور الاستيريوسكوبية ، اكثر لمعانا » .

وفى الكتاب القديم المسمى بـ « فسيولوجيا اعضاء الحس ــ الابصار » الذى الفه العالم الفسيولوجى الروسى العظيم سيجينوف (عام ١٨٦٧) ، نجد تفسيرا رائعا لهذه الظاهرة :

« فى تجارب التوحيد ــ الدمج ــ الصناعى للسطوح المختلفة الاضاءة او التلوين ، تتكرر الظروف الحقيقية لابصار الاجسام اللامعة . وفى الواقع ، بماذا يختلف السطح الاكمد عن السطح اللامع ــ الصقيل ــ ؟ ان السطح الاكمد يعكس الضوء ويشتته فى كافة الجهات ، ولذلك يبدو للعين على الدوام ، منتظم الاضاءة ، بغض النظر عن الجهة التى ننظر منها اليه . اما السطح اللامع ، فيعكس الضوء فى جهة معينة فقط ، ولذلك يحتمل ان تصل الى احدى عينى الانسان الذى ينظر الى مثل هذا السطح، كمية كبيرة من الاشعة المنعكسة ، بينما لا تصل الى العين الثانية اية كمية من الاشعة (وهذه الظروف تنطبق بصورة خاصة على حالة الاندماج الاستيريوسكوبى للسطح الابيض مع السطح الاسود) . اما حالات عدم انتظام توزيع الضوء المنعكس على عينى المراقب (اى الحالات التى تكون فيها كمية الضوء الواصلة الى احدى العينين، اكبر من الكمية الواصلة الى العين الاخرى) عند النظر الى السطوح اللامعة الصقيلة ، فلا بد من حدوثها .

وهكذا يرى القارئ ، ان اللمعان الاستيريوسكوبى، هو بمثابة برهان للنظرية القائلة بان الخبرة تلعب الدور الرئيسى فى عملية الاندماج الجسمانى للاشكال . ويخضع الصراع بين مجالات الابصار للتصورات الراسخة ، فورا ، حالما تعطى للجهاز البصرى المجرب ، امكانية نسب الاختلاف ، الى حالة معروفة من حالات الابصار الحقيقى » .

وهكذا ، فان سبب رؤية اللمعان (على الاقل احد الاسباب) ، يعود الى عدم تساوى وضوح الصورتين اللتين نراهما بكل من العينين اليمنى واليسرى . ولولا وجود الاستيريوسكوب ، لما كان فى استطاعتنا معرفة هذا السبب الا بصعوبة بالغة .

الابصار اثناء الحركة السريعة

لقد ذكرنا سابقا : بان الصور المختلفة للجسم الواحد بالذات ، تتوحد فى العين اثناء التغيّر السريع وتخلق انطباعا بصريا عن وجود البروز .

وهنا نطرح السؤال التالى : هل يحدث هذا عندما تشاهد العين الساكنة ، الصور المتحركة فقط ، ام يحدث كذلك ، عندما تكون الصور ساكنة والعين متحركة بسرعة ؟

نعم ، ان التأثير الاستيريوسكوبى هو نفسه فى كلتا الحالتين . ومن المحتمل ان يكون الكثير من القراء قد لاحظ ان الصور السينمائية الملتقطة من قطار سريع ، تظهر بشكل مجسم وبارز لا يقل روعة عن الشكل الذى نحصل عليه فى الاستيريوسكوب . ويمكننا التأكد من ذلك بانفسنا ، اذا انتبهنا جيدا الى الانطباعات البصرية التى تتكون لدينا عند السفر فى قطار سريع او سيارة . ان المناظر الطبيعية التى نراها فى تلك الحالة ، تتميّز بتجسيمها ، وبانفصال خلفية المنظر عن اماميته انفصالا واضحا . ويزداد الاحساس بعمق المنظر ، ويزداد مدى الابصار الاستيريوسكوبى حتى يتجاوز بكثير ، تلك المسافة القصوى للابصار الاستيريوسكوبى بالنسبة للعين الساكنة ، والتى تقدر بـ ٤٥٠ م .

ولكن هل يكمن فى ذلك ، سر الانطباع الممتع ، الذى يحدثه فى انفسنا ، ذلك المنظر الطبيعى الذى نشاهده من نافذة القطار السريع ؟ ان المدى يزداد اتساعا ، ونستطيع ان نميّز عظمة المناظر الطبيعية المحيطة بنا بكل وضوح . وعندما نجتاز احدى الغابات بسيارة سريعة ، نرى — لنفس السبب السابق — ان كل شجرة وكل غصن وورقة ، تبدو امامنا محددة بوضوح فى الفراغ ، وهى منفصلة عن بعضها وليست مندمجة فى صورة واحدة ، كما تبدو للمراقب الساكن . وعند السفر السريع على طريق جبلى ، نرى التضاريس الارضية مباشرة بالعين ، وتبدو امامنا الجبال والوديان بانسجام محسوس . وسوف يتولد لدى الناس الذين لهم عين واحدة شعورا جديدا لم يعرفوه قبل ذلك . وقد ذكرنا سابقا ، انه بالنسبة لابصار الاجسام بشكل بارز ، لا تكون هناك ضرورة بالمرة ، كما يعتقد الناس عادة ، للنظر الى الصور المختلفة بكلتا العينين فى وقت واحد . ان الابصار

الاستيريوسكوبى ، يتم كذلك بعين واحدة ، اذا كانت الصور المختلفة تندمج ، عند تغيّرها بسرعة كافية * .

ومن السهل جدا التحقق مما ذكرناه. وللقيام بذلك يجب علينا فقط ، ان نتنبه قليلا الى اننا نرى الاشياء المذكورة ونحن نجلس فى عربة القطار او فى السيارة . وعند ذلك ، من المحتمل ان يلاحظ القارئ ، ظاهرة اخرى عجيبة ، كتب عنها العالم دوفيه قبل مائة عام (حقا ، ان ما ننساه تماما ، نعتبره بعدئذ شيئا جديدا) ، ما يلى : ان الاجسام القريبة ، التى تمر امام النافذة بسرعة خاطفة ، تظهر لنا اصغر مما هى عليه فى الواقع . وتفسر هذه الحقيقة ، بسبب ليس له الا صلة بعيدة بالابصار الاستيريوسكوبى ، وهو على وجه الخصوص ، اننا عندما نرى الاجسام المتحركة بسرعة كبيرة ، نعتقد خطأً بانها قريبة منا . وعندما نناقش المسألة بدون وعى ، نقول : اذا كان الجسم قريبا منّا ، فيجب ان يكون فى الطبيعة ، اصغر مما هو عليه عادة ، ليظهر بالحجم الذى يتراءى لنا دائما . وهذا هو التفسير الذى جاء به العالم هيلمهولتز .

من خلال النظارة الملونة

اذا نظرنا من خلال زجاج احمر اللون ، الى كتابة بالخط الاحمر على ورقة بيضاء ، فسوف لا نرى سوى خلفيّة مستوية حمراء اللون . ولن نستطيع العثور على اى اثر للكتابة ، لان الحروف الحمراء تندمج مع الخلفيّة الحمراء . واذا نظرنا من خلال نفس الزجاج ، الى كتابة بالخط الازرق على ورقة بيضاء ، فسوف نرى بوضوح ، حروفا سوداء على ورقة حمراء . من اين أتت الحروف السوداء ؟ من السهل ادراك ذلك ، اذا علمنا ان الزجاج الاحمر لا يمرر الاشعة الزرقاء (وهو احمر اللون لانه لا يمرر سوى الاشعة

* وهذا سبب ذلك التجسيم الواضح للصور السينمائية ، اذا كانت ملتقطة من قطار متحرك يسير على خط منحن ، وكانت الاشياء التى يجرى تصويرها واقعة داخل الخط المنحنى . ان « تأثير السكة الحديدية » الذى تحدثنا عنه هنا ، معروف جيدا لدى المصورين السينمائيين .

الحمراء) . وهكذا ، فبدلا من رؤية الاشعة الزرقاء ، نلمس عدم وجود الضوء ، اى نرى حروفا سوداء .

ان التأثير الناتج عن الصور المسماة بالصور الاناغليفية – وهى صور مطبوعة بطريقة خاصة ، وتعطى نفس التأثير الذى تعطيه الصور الاستيريوسكوبية – مبنى على اساس الخاصية المذكورة للزجاج الملون . وفى الصور الاناغليفية ، تؤخذ كلتا الصورتين المطابقتين للعينين اليسرى واليمنى ، وتطبعان احدهما فوق الاخرى ، ولكن بلونين مختلفين هما الازرق والاحمر .

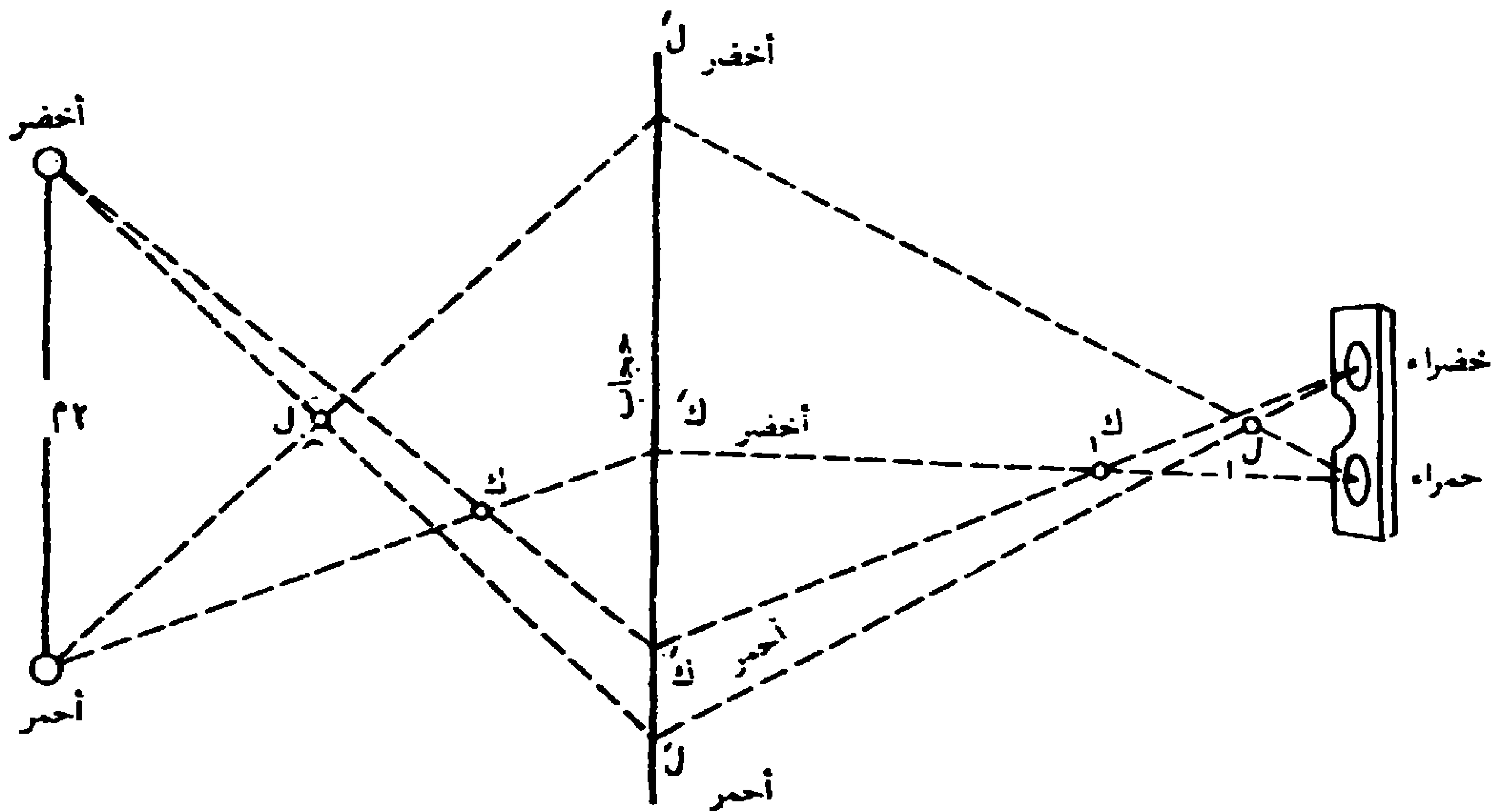
ولكى نرى بدلا من الصورتين الملونتين ، صورة واحدة سوداء ومجسمة ، يكفى ان ننظر اليهما من خلال نظارة ملونة . ان العين اليمنى لا ترى من خلال الزجاج الاحمر سوى الصورة الزرقاء ، اى الصورة التى تناسب العين اليمنى بالذات (ولا تبدو للعين ملونة ، بل سوداء) . اما العين اليسرى فلا ترى من خلال الزجاج الازرق سوى الصورة الحمراء المناسبة لها . ان كل عين لا ترى سوى صورة واحدة فقط ، هى الصورة التى تناسبها بالذات . ونرى هنا نفس الحالة التى نراها فى الاستيريوسكوب . وبالتالى ، يجب ان تكون النتيجة متماثلة ايضا ، اى يجب ان تبدو الصورة مجسمة .

«عجائب الظلال»

ان تأثير « عجائب الظلال » التى ظهرت فى وقت ما على شاشة السينما ، مبنى على نفس المبدأ الذى شرحناه الآن . وتتلخص « عجائب الظلال » ، فى ان ظلال الاجسام المتحركة ، التى تسقط على الشاشة ، تبدو للمشاهدين (الذين يضعون على اعينهم نظارات بلونين) على هيئة نماذج مجسمة ، تبرز بوضوح امام الشاشة . ويتم الحصول على الصور فى هذه الحالة ، بالاستفادة من تأثير الاستيريوسكوبية (المجسامية) ذات اللونين . يوضع الجسم المراد عرض ظله على المشاهدين ، بين الشاشة وبين مصدرين للضوء ، موضوعين بالقرب من بعضهما ، احدهما احمر والآخر اخضر . ويظهر على الشاشة عندئذ ،

ظلان ملونان — احمر واخضر ، يغطيان بعضهما البعض جزئيا . ولا ينظر المشاهدون الى تلك الظلال بصورة مباشرة ، بل من خلال نظارات ، تكون زجاجاتها مسطحة وذات لونين ، احمر واخضر .

وقد اوضحنا الآن ، انه تتكون فى هذه الحالة ، صورة لنموذج مجسم ، يبرز امام الشاشة . وتكون الصورة التى نحصل عليها بواسطة « عجائب الظلال » ، مسلية للغاية . اذ يبدو احيانا ، ان الجسم المقذوف يتجه تماما نحو المشاهد ، او يبدو احد العناكب العملاقة وهو يسير فى الهواء متجها نحو المشاهدين ، الامر الذى يجعلهم يصرخون دون ارادتهم ويديرون وجوههم . ان هذا الجهاز بسيط جدا ، كما يتضح من الشكل ١٣٤ ، حيث يبدو كل من المصباحين الاحمر والاخضر الى يسار الشكل ، ويمثل الحرفان ل وك ، الجسمين الموضوعين بين المصباحين والشاشة . اما الحرفان ل' وك' مع الاشارة الى اللون ، فيمثلان الظلال الملونة للجسمين ، كما تظهر على الشاشة ، ويمثل الحرفان



شكل ١٣٤ : سر « معجزات الظلال » .

ل$_1$ و ك$_1$ ، المحلّين ، اللذين يظهر فيهما الجسمان ، للمشاهد الذى ينظر اليهما من خلال الزجاجتين الملونتين ، الخضراء والحمراء ، الظاهرتين الى يمين الشكل المذكور . وعندما يتحرك العنكبوت الموجود وراء الشاشة من النقطة ك الى النقطة ل ، يبدو للمشاهد انه يتحرك من النقطة ك$_1$ الى النقطة ل$_1$.

وبصورة عامة ، كلما اقترب الجسم الموجود وراء الشاشة ، من مصدر الضوء ، كلما عمل على تكبير الظل الساقط على الشاشة ، وبذلك يجعل المشاهد يتصور بان الجسم يتحرك من الشاشة ، متجها نحوه . ان كل جسم يبدو للمشاهدين وكانه يطير نحوهم ، متجها اليهم من الشاشة ، يتحرك فى الواقع باتجاه معاكس — من الشاشة الى مصدر الضوء الموجود وراءها .

التغير المفاجىء للالوان

من الملائم هنا ان نتحدث عن سلسلة من التجارب ، التى نالت اعجاب زوار « جناح العلوم المسلية » فى المنتزه المركزى العام لمدينة لينينغراد . وقد نظم احد اركان ذلك الجناح ، على هيئة غرفة استقبال . وكانت هذه الغرفة تحتوى على اثاث باغطية برتقالية داكنة ، وعلى منضدة مغطاة بغطاء اخضر اللون ، ووضع عليها دورق زجاجى يوجد فيه شراب التوت البرى وانواع من الورود ، وهناك رف رتبت عليه الكتب ، التى خطّت على اغلفتها كتابات ملونة . وتنار الغرفة فى بادئ الامر ، بالانارة الكهربائية ذات اللون الابيض العادى . وعندما يستبدل الضوء الابيض بضوء احمر ، يحدث فى الغرفة تغير مفاجئ . اذ يصبح لون الاثاث ورديا ، ويتحول لون الغطاء الاخضر الى لون بنفسجى داكن ، ويصبح الشراب عديم اللون مثل الماء ، اما الورود فتتغير الوانها تماما ، كما يختفى قسم من الكتابة الموجودة على غلافات الكتب ، دون ان يترك اى اثر ...

ثم تضاء الغرفة بضوء اخضر . وهنا تتبدل معالم الغرفة مرة اخرى ، تبدلا كليا . ان كل هذه التحولات المسلية ، توضح لنا بصورة جيدة ، نظرية نيوتن المتعلقة بالوان الاجسام . ويتلخص جوهر هذه النظرية ، فى ان سطح الجسم يتلون دائما بلون الاشعة

التي يبعثرها ، وليس بلون الاشعة التي يمتصها ، اي انه يظهر بلون الاشعة التي يوجهها نحو عين المراقب . وقد قام العالم الفيزيائي الانكليزي البارز جون تندال ، بوضع الصيغة التالية للحالة المذكورة :

« عندما نضيء الجسم بالضوء الابيض ، فان الضوء الاحمر يتكون نتيجة لامتصاص الاشعة الخضراء ، ويتكون اللون الاخضر نتيجة لامتصاص الاشعة الحمراء ، بينما تظهر بقية الالوان في كلتا الحالتين ، بعد التحميض . وهذا يعني ، ان الاجسام تكتسب الوانها بطريقة سلبية ، لان اللون لا ينتج عن اضافة ، بل ينتج عن حذف » .

اذن ، يكون للغطاء الاخضر ، لون اخضر عند وجود الضوء الابيض ، لان للغطاء المذكور قابلية جيدة لتشتيت الاشعة الخضراء والاشعة الملاصقة لها في الطيف الشمسي . اما قابليته لتشتيت بقية الاشعة ، فتكون ضعيفة ، لانه يمتص اكبر جزء من هذه الاشعة . واذا سلّطنا على مثل هذا الغطاء ، مزيجا من الاشعة الحمراء والبنفسجية، فان الغطاء سوف لا يشتت تقريبا ، الا الاشعة البنفسجية وحدها ، بينما يمتص اكبر جزء من الاشعة الحمراء . عندئذ تشاهد العين لونا بنفسجيا داكنا .

وهذا هو تقريبا ، نفس السبب الذي يؤدي الى تغيّر الالوان في غرفة الاستقبال . والشيء الذي يبقى محيّرا ، هو اختفاء لون الشراب : لماذا اصبح السائل الاحمر ، عديم اللون ، عند اضاءة النور الاحمر ؟ ان السبب يتلخص في ان الدورق المحتوي على الشراب ، موضوع على ورقة بيضاء مفروشة على الغطاء الاخضر . فاذا رفعنا الدورق عن الورقة البيضاء ، فاننا سنجد في الحال ، ان السائل لا يبدو عديم اللون في الضوء الاحمر ، بل احمر . ويكون السائل عديم اللون في حالة واحدة : هي عندما يوضع الدورق بالقرب من الورقة البيضاء ، التي تصبح حمراء عند اضاءة النور الاحمر . ولكننا مع ذلك ، نراها بيضاء ، لتعودنا على هذا الامر ، ونتيجة للتباين مع الغطاء الملون الداكن . ولما كان لون السائل الموجود في الدورق ، مشابها للون الورقة ، الابيض الموهوم ، فاننا بدون ارادة ، نرى شراب التوت البري بلون ابيض . ولهذا : فانه لا يبدو امام اعيننا مثل شراب التوت البري ، بل يبدو مثل الماء عديم اللون .

ويمكن اجراء مثل هذه التجارب المذكورة اعلاه ، بصورة مبسطة ، وللقيام بذلك يكتفى الحصول على قطع زجاجية ملونة لكى تنظر من خلالها الى الاشياء المحيطة بنا .

ارتفاع الكتاب

اطلب من ضيفك ان يقدّر لك باصبعه على الحائط : كم يبلغ ارتفاع الكتاب الذى بين يديه ، اذا وضعناه على الارض بصورة عمودية . وعندما يفعل ذلك ، ضع الكتاب على الحائط بالفعل ، وسترى ان الارتفاع الذى قدره ضيفك : هو ضعف ارتفاع الكتاب تقريبا !

وتكون التجربة اكثر نجاحا ، اذا لم ينحن ضيفك عند قيامه بتقدير الارتفاع ، بل يكتفى بالاشارة الى ذلك الموضع من الحائط ، الذى يعتقد انه يوازى ارتفاع الكتاب ، لتوضع عليه علامة . ومن البديهى ، اننا نستطيع القيام بالتجربة المذكورة ، مستخدمين اشياء اخرى عدا الكتاب ، مثل المصباح والقبعة وغير ذلك من الحاجيات التى اعتدنا ان نراها قريبا من مستوى النظر فى العادة .

ويكمن سر الخطأ عند تقدير الارتفاع ، فى ان كافة الاشياء تصبح اقصر مما هى عليه ، اذا نظرنا اليها بامتداد حافاتها الطويلة .

ابعاد ساعة البرج

ان الخطأ الذى ارتكبه ضيفك عند تقديره لارتفاع الكتاب ، نرتكبه نحن ايضا بصورة دائمية ، عندما نقدر ابعاد الاشياء الموجودة على ارتفاع كبير . والخطأ الذى نرتكبه عند تقديرنا لابعاد ساعة البرج ، هو خطأ مميّز بصورة خاصة . ونحن نعرف بالطبع ، ان مثل هذه الساعة : تكون كبيرة الحجم جدا ، ومع ذلك ، فان تقديرنا



شكل ١٣٥ : حجم ساعة برج ويستمينستر (بج بن) .

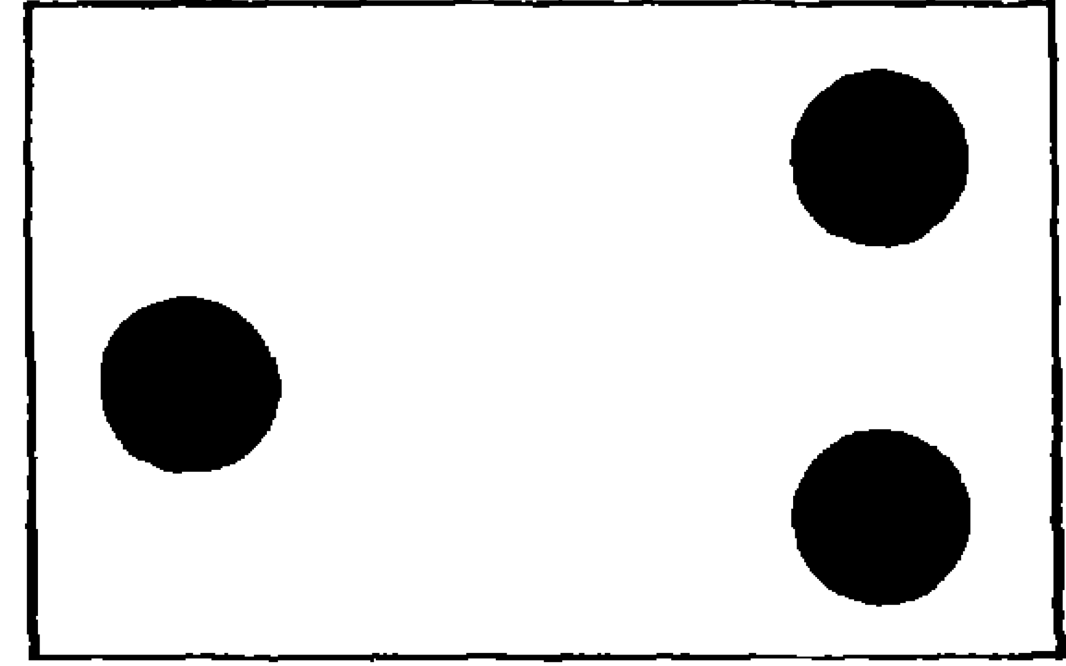
لحجمها يقل كثيرا عما هو عليه فى الحقيقة . ويبيّن الشكل ١٣٥ ، ميناء ساعة برج ويستمينستر (بج بن) المشهورة فى لندن ، عندما انزل من محله ووضع على قارعة الطريق .

ان الانسان يبدو بحجم الحشرة الصغيرة ، عند مقارنته بحجم ذلك الميناء الضخم . وعندما ننظر الى برج الساعة الذى يبدو من بعيد ، فاننا لن نصدق بان حجم الفتحات الظاهرة فى البرج ، يساوى حجم الساعة المذكورة .

انظر من بعيد الى الشكل ١٣٦ ، ثم اذكر عدد الاقراص السوداء ، التي يمكن وضعها في الفراغ الموجود بين القرص الايسر واحد القرصين الموجودين في الجهة اليمنى — اربعة اقراص ام خمسة ؟ ستكون الاجابة على الاغلب ، بانه يمكن وضع اربعة اقراص ببساطة ، اما ما يتبقى من الفراغ ، فلن يتسع للقرص الخامس .

واذا قيل لك بان الفراغ المذكور ، لا يتسع لاكثر من ثلاثة اقراص بالضبط ، فانك سوف لا تصدق ذلك . خذ ورقة او فرجارا ، وتأكد من ذلك بنفسك .

ان هذه الخدعة العجيبة ، التي تبدو الاقراص السوداء طبقا لها ، اصغر من الاقراص البيضاء التي لها نفس الحجم ، تسمى بـ « الاشعاع » . وهي تعتمد على عدم كمال العين البشرية ، التي تعتبر كجهاز بصري ، ولا تتلاءم تماما مع الشروط القاطعة التي يجب توفرها في الاجهزة البصرية . ان اوساط الانكسار في العين ، لا تطبع على الشبكيّة رسوما محيطية حادة الملامح ، كتلك التي نراها على الزجاج المستفر لآلة التصوير المضبوطة جيدا . ونتيجة لما يسمى بالزيغ الكروي ، يحاط كل رسم محيطي فاتح اللون ، بحاشية نيّرة ، تعمل على زيادة ابعاده ، عند وقوعه على شبكية العين . وبالنتيجة ، فان الاقسام الفاتحة اللون ، تبدو لنا دائما ، اكبر من الاقسام السوداء المساوية لها .



شكل ١٣٦ : ان امتداد الفراغ الموجود بين القرص الايسر وكل من القرصين الموجودين في الجهة اليمنى ، يبدو اكبر من المسافة بين الحافات الخارجية للقرصين الموجودين في الجهة اليمنى . اما في الواقع فان البعدين المذكورين متساويان .

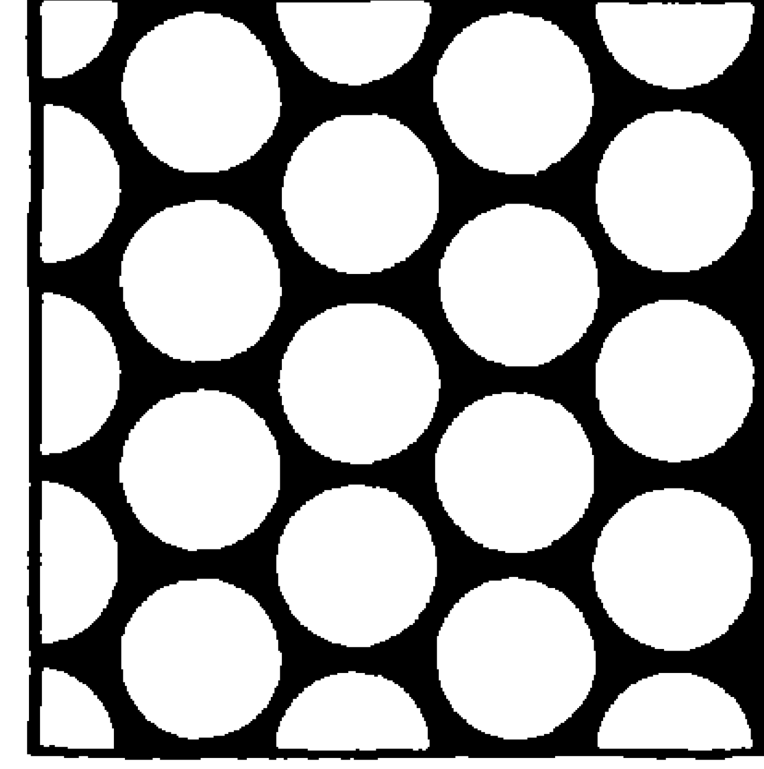
ونقدم الى القراء فيما يلي ، بعض ما جاء في « نظرية الالوان » للشاعر الالماني العظيم جوته ، الذي كان ملاحظا دقيقا جدا للظواهر الطبيعية (مع انه لم يكن على الدوام بالباحث الفيزيائي النظري الدقيق) : « ان الجسم المعتم يبدو اصغر من الجسم النيّر (الفاتح) ، الذي

يساويه في الحجم ، فاذا نظرنا في وقت واحد : الى قرص ابيض موضوع على سطح اسود ، والى قرص اسود بنفس القطر ، موضوع على سطح ابيض ، فان القرص الاسود يبدو لنا اصغر من القرص الابيض بمقدار $\frac{1}{5}$ مرة تقريبا . واذا كبّرنا القرص الاسود طبقا للمقدار المذكور ، عندئذ نرى القرصين بحجم متساو . ان هلال القمر يبدو لنا في اول الشهر وكأنه يحيط بدائرة اكبر قطرا من الدائرة التي تقع فيها بقية الاجزاء المعتمة من القمر ، والتي تبدو احيانا متميّزة ، في مثل هذه الحالة (الضياء الرمادى للقمر — بيريلمان) . ان الانسان يبدو في الملابس السوداء ، انحف مما يبدو في الملابس الفاتحة الالوان . ان الضوء القادم من وراء حافات الجسم ، يبدو وكأنه يقطع ذلك الجسم . ان المسطرة ، التي ينبعث من ورائها لهب الشمعة ، تبدو وكأنها تحتوى على ثلمة في ذلك الموضع . والشمس عند شروقها وغروبها ، تحدث ما يشبه التجويف في الافق » .

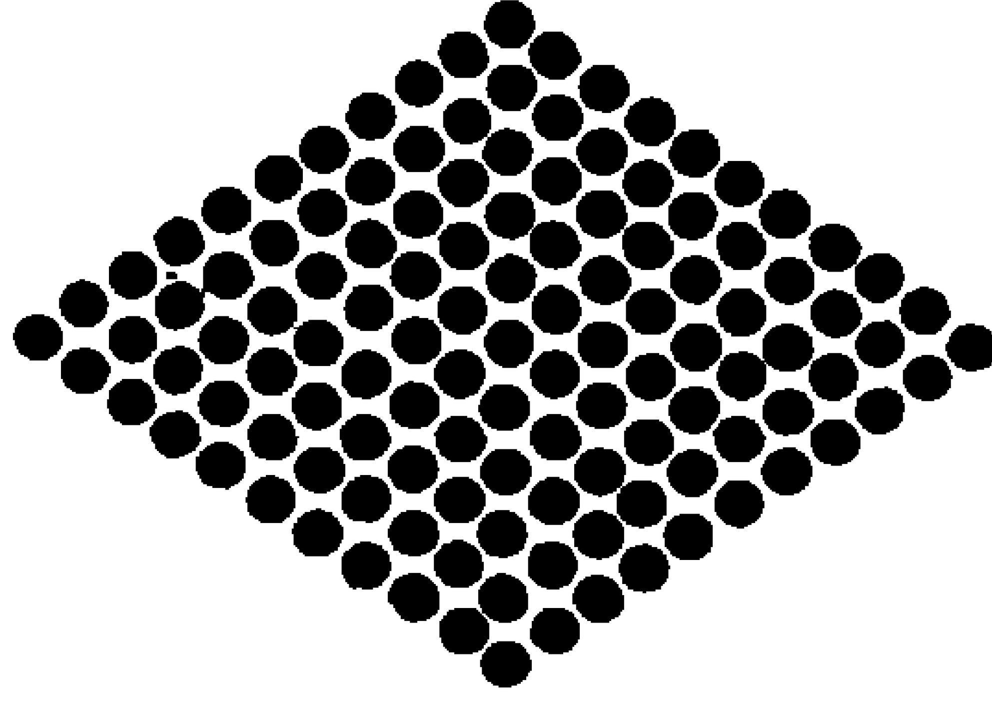
ان كل ما جاء في تلك الملاحظات ، يعتبر صحيحا ، ما عدا التأكيد بان القرص الابيض يبدو وكأنه اكبر من القرص الاسود الذى يماثله ، بنفس ذلك المقدار الجزئى دائما . ان الزيادة تعتمد على المسافة التي ينظر منها الى تلك الاقراص . والآن ، يتضح لنا لماذا يكون الامر بهذا الشكل .

نبعد الشكل ١٣٦ ، الى مسافة بعيدة عن العين ، فنرى ان الخدعة تصبح اكثر تأثيرا واكثر مدعاة للدهشة . ان هذا يفسر بان عرض الحاشية الاضافية يبقى ثابتا على الدوام . واذا كانت الحاشية ، عند وقوع القرص الابيض على مسافة قريبة ، تزيد عن مساحته بمقدار ١٠٪ فقط ، فعند وقوعه على مسافة بعيدة ، حيث يصغر بالذات ، عندئذ سوف لا تساوى تلك الزيادة نفسها ، ١٠٪ ، بل ستساوى مثلا ٣٠٪ او حتى ٥٠٪ من مساحة القرص . ان خاصية العين المشار اليها ، توضح لنا كذلك ، الخصائص الغريبة التي توجد في الشكل ١٣٧ .

اذا نظرنا الى الشكل المذكور من مسافة قريبة ، لرأينا عددا من الاقراص البيضاء ، المرسومة على صفحة سوداء . ولكن عندما نبعد الكتاب عن العين ، وننظر الى الشكل



شكل ١٣٧ : اذا نظرنا الى هذا الشكل من مسافة بعيدة نوعا ما ، لرأينا ان الاقراص البيضاء تتحول الى مسدسات منتظمة .



شكل ١٣٨ : ان الاقراص السوداء تبدو من مسافة بعيدة وكأنها مسدسات منتظمة .

من مسافة خطوتين او ثلاث خطوات ، واذا كان نظرنا قويا ، ننظر اليه من مسافة تتراوح بين ٦ و٨ خطوات ، سنرى ان الشكل يتغيّر بوضوح ، وستظهر امامنا بدلا من الاقراص ، مسدسات بيضاء تشبه خلايا النحل .

انني لست مقتنعا تماما بتفسير خدعة الاشعاع هذه ، منذ ان لاحظت ان الاقراص السوداء المرسومة على صفحة بيضاء ، تبدو من بعيد على هيئة مسدسات ايضا (شكل ١٣٨) ، مع ان الاشعاع في هذه الحالة ، لا يكبّر الاقراص بل يصغرها . ويجب القول بان التفسيرات التي تعلل الخداع البصري بصورة عامة ، لا يمكن اعتبارها مقنعة تماما ، كما ان معظم الخدع البصرية لا تجد لها تفسيرا لحد الآن .

اى الحروف اكثر اسودادا ؟

ان الشكل ١٣٩ * ، يجعلنا نكتشف نقصا آخر في عيوننا يسمى بـ « اللانقطية » . واذا نظرنا الى الشكل المذكور بعين واحدة ، لظهر لنا بان الحروف المبينة فيه ، ليست كلها متماثلة الاسوداد . لاحظ اى الحروف الاربعة اكثر اسودادا ، ثم ادر الشكل

* ان الكلمة المبينة في الشكل ١٣٩ هي كلمة روسية وتعني « عين » .



شكل ١٣٩ : عندما ننظر الى هذا الشكل بعين واحدة ، يبدو لنا ان احد الحروف اكثر اسودادا من الحروف الاخرى .

جانبا ، وسترى تغيّرا مفاجئا . اذ يصبح الحرف الأكثر اسودادا ، رماديا ، ويبدو احد الحروف الاخرى اكثر اسودادا .

وفي الحقيقة ، فان جميع الحروف الاربعة متماثلة الاسوداد ، ولكنها مظللة في اتجاهات مختلفة فقط . فاذا كانت العين خالية من النقص ، كبقية العدسات الزجاجية ، لما اثّر اتجاه التظليل ، على اسوداد الحروف . ولكن العين البشرية ، لا تكسر الاشعة بصورة متساوية تماما في مختلف الاتجاهات . ولهذا السبب ، لا يمكننا في الحال ، ان نرى الخطوط العمودية والافقية والمائلة ، بدرجة متساوية من الدقة والوضوح . ولا يوجد الا القليل النادر من الناس ، الذين تخلو عيونهم من هذا النقص . وتصل « اللاانقطية » عند بعض الناس الى درجة كبيرة ، تؤثر على النظر ، اذ تقلل من حدته . ولهذا يضطر مثل هؤلاء الناس الى استعمال النظارات لكي يتمكنوا من الرؤية بوضوح .

وتوجد في العين ، عيوب عضوية اخرى ، يمكن تلافيها عند صنع الاجهزة البصرية . وقد تحدث العالم الشهير هيلمهولتز ، عن هذه العيوب ، فقال :

« اذا فكر احد صناع الادوات البصرية ، بان يبيعني جهازا له مثل هذه العيوب ،



شكل ١٤٠ : الصورة المحيرة

لشعرت بانني على حق تماما ، اذا اعتبرت ذلك الرجل غير دقيق فى عمله ، واعدت اليه الجهاز مقرونا بالاحتجاج » .

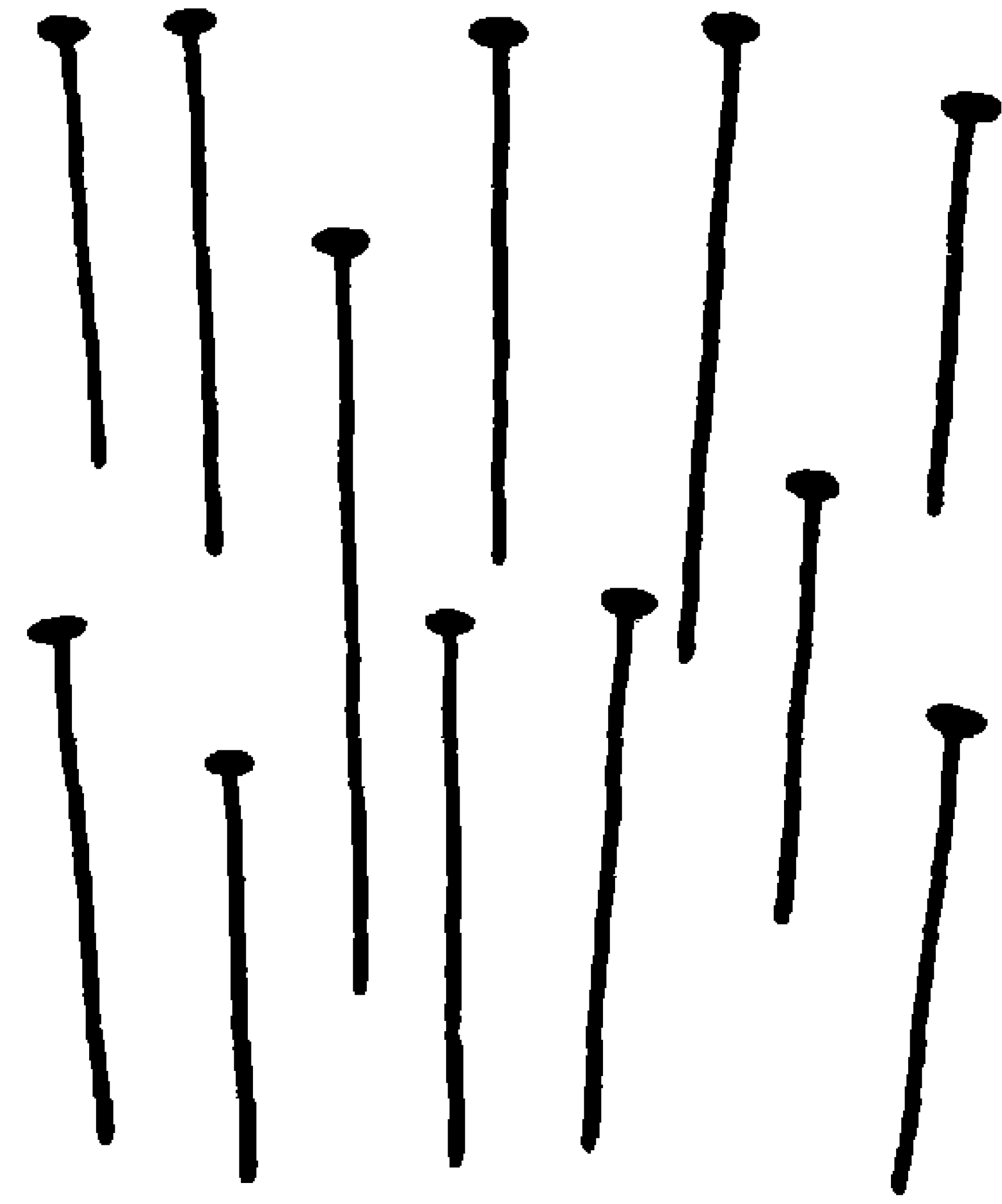
ولكن بالاضافة الى هذه الخدع ، التى تقترن بوجود عيوب معروفة فى التركيب ، فان عيوننا تقع تحت تأثير عدد من الخدع ، التى تكون لها اسباب اخرى ، تختلف تمام الاختلاف عن الاسباب المذكورة اعلاه .

الصور الحيّة

من المحتمل ان يكون معظم القراء قد شاهد الصور ، التى لا ينظر الشخص الظاهر فيها باتجاه المشاهدين فحسب ، بل يلاحقهم بعينيه ، اللتين يوجههما الى الجهة التى يقصدها المشاهدون . ان هذه الخاصية الطريفة لتلك الصور ، معروفة منذ مدة طويلة ، وكانت تحيّر كثيرا من الناس دائما ، وحتى انها كانت تخيف الناس العصبيّين . وقد وصف الكاتب الروسى الشهير جوجول ، تلك الحالة وصفا بديعا فى قصته « الصورة » ، حيث قال :

« حدقت اليه العينان ، وبدا وكانهما لا تريدان النظر الى اى شىء آخر سواه ... لقد تجاوزتا كل شىء حولهما ، وراحتا تحدقان اليه تماما ، وتصل نظراتهما الى اعماقه ببساطة ... »

وهناك كثير من الاساطير الخرافية ، المتصلة بهذه الخاصية الغامضة ، للعينين الظاهرتين فى تلك الصور المذكورة . اما فى الحقيقة ، فهى لا تخرج عن كونها خدعة



شكل ١٤١ : اذا اغمضنا احدى العينين وركزنا العين الاخرى فى نقطة تلاقى امتدادات الدبابيس بصورة تقريبية ، لظهرت هذه الدبابيس وكأنها مغروزة فى الورقة تماما . وعندما نحرك الشكل من جهة الى اخرى بهدوء ، نرى ان الدبابيس تتمرجح تبعا لذلك .

بصرية . ان الخدعة تتلخص في ان حدقة العين في هذه الصور ، ثابتة في وسط العين . وبهذا الشكل بالذات ، تبدو لنا عينا الشخص الذى ينظر الينا باستقامة تامة ، اما عندما ينظر الى احدى الجهات الاخرى ويمرر نظره بقربنا ، فان الحدقة وقزحية العين باكملها ، لا تظهران لنا في وسط العين ، بل تكونان مزاحتين قليلا نحو طرف العين . وعندما نبتعد قليلا عن الصورة في احد الاتجاهات ، فان الحدقتين لا تغيّران من موقعهما بطبيعة الحال ، بل تبقيان في وسط العين . ولما كنا بالاضافة الى ذلك ، لا نزال نرى الوجه باكمله ، على وضعيته السابقة بالنسبة الينا ، فمن الطبيعي ان يبدو لنا وكأن الشخص الذى في الصورة ، قد ادار رأسه نحونا وأخذ يتتّبعنا .

وبنفس الطريقة ايضا ، تفسّر الخواص المحيرة الاخرى لبعض الصور : حصان ينطلق نحونا باستقامة تامة ، ورجل يشير الينا باصبعه مهما تنّحينا جانبا عن الصورة ، اذ تبقى يده ممتدة الى الامام ، باتجاهنا مباشرة ، وغير ذلك من الصور الاخرى. ويبيّن الشكل ١٤٠ ، نموذجا لتلك الصور . وكثيرا ما تستخدم مثل هذه اللوحات، لاغراض الدعاية والاعلان .

واذا فكرنا مليّا في سبب تلك الخدع البصرية ، لا تضح لنا انها ليست فقط غير مدهشة . وانما العكس ، اذ كان الامر سيدعو الى الدهشة لو لم تكن للصور المذكورة مثل هذه الخاصيّة .

انواع اخرى من الخداع البصرى

ان مجموعة الدبابيس المبينة في الشكل ١٤١ ، ليس فيها ما يدعو الى الدهشة للوهلة الاولى . ولكن اذا رفعنا الكتاب الى مستوى النظر ، واغمضنا احدى العينين ، ونظرنا الى تلك الدبابيس ، بحيث ينزلق خط الرؤية على طول الدبابيس (يجب ان تستقر العين في النقطة التي تتقاطع فيها امتدادات الدبابيس) ، لرأينا عندئذ ، بان الدبابيس تبدو وكأنها غير مخططة على الورقة ، بل مغزوزة فيها عموديا . وعندما ندير وجهنا قليلا الى احدى الجهات ، نرى وكأن الدبابيس تميل الى نفس الجهة ايضا .

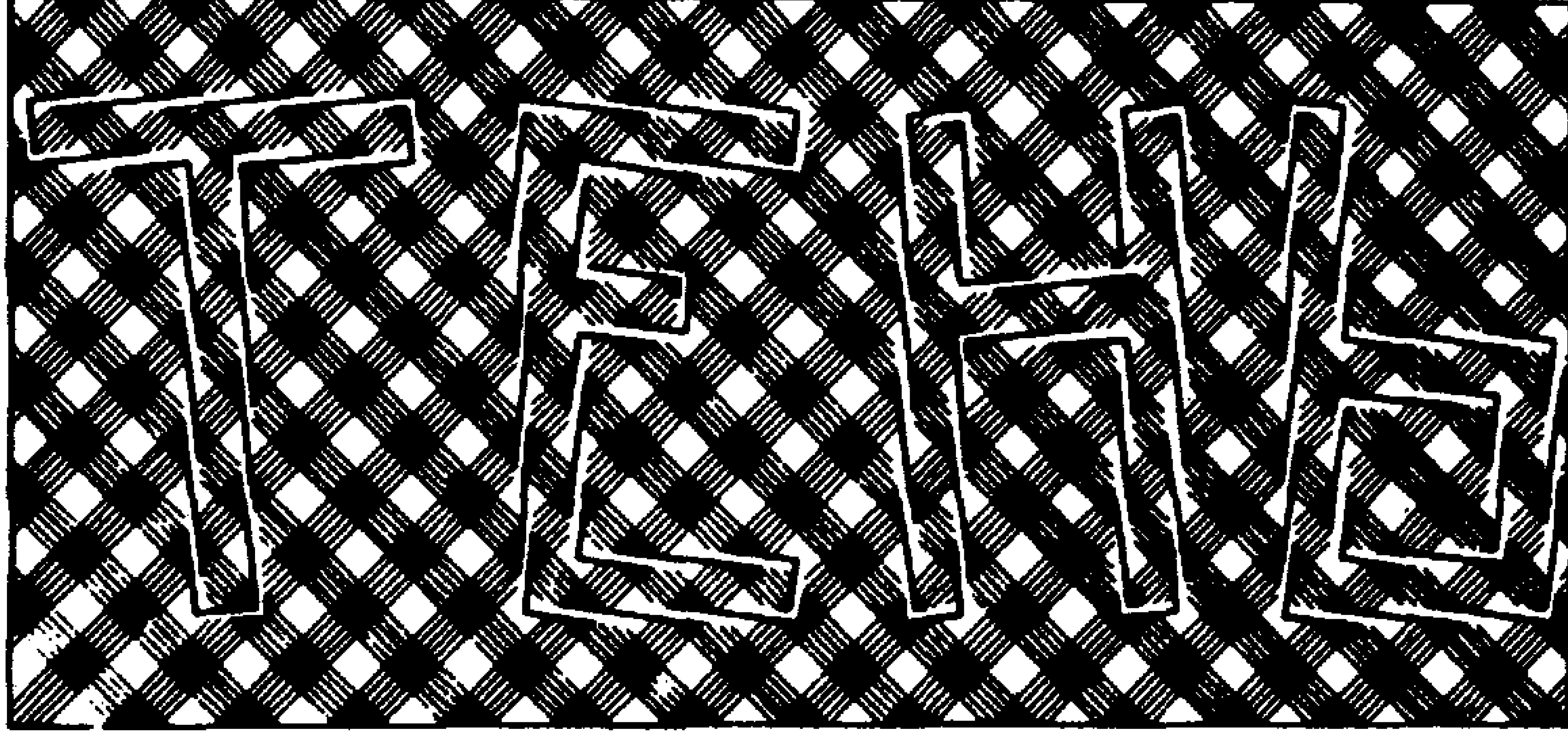
وتفسّر هذه الخدعة البصرية ، بقوانين الشكل المنظورى : لقد رسمت الخطوط ، تبعا لمساقط الدبابيس المذكورة ، على الورقة التى غرزت فيها ، عندما ينظر اليها بالطريقة المبينّة اعلاه .

ولا يجب علينا مطلقا ان نعتبر الاستسلام لخداع البصر . نتيجة لاحد العيوب البصرية الموجودة فى العين فقط . ولهذا الاستسلام ، فائدة كبيرة جدا . غالبا ما تغيب عن الاذهان . فاذا لم تكن العين تخضع لاى خداع بصرى ، لما رأينا المناظر الطبيعية . ولحرمنا من التمتع بمشاهدة كافة اللوحات الفنية الجميلة . ويستفيد الرسامون كثيرا من هذه العيوب البصرية الموجودة فى العين .

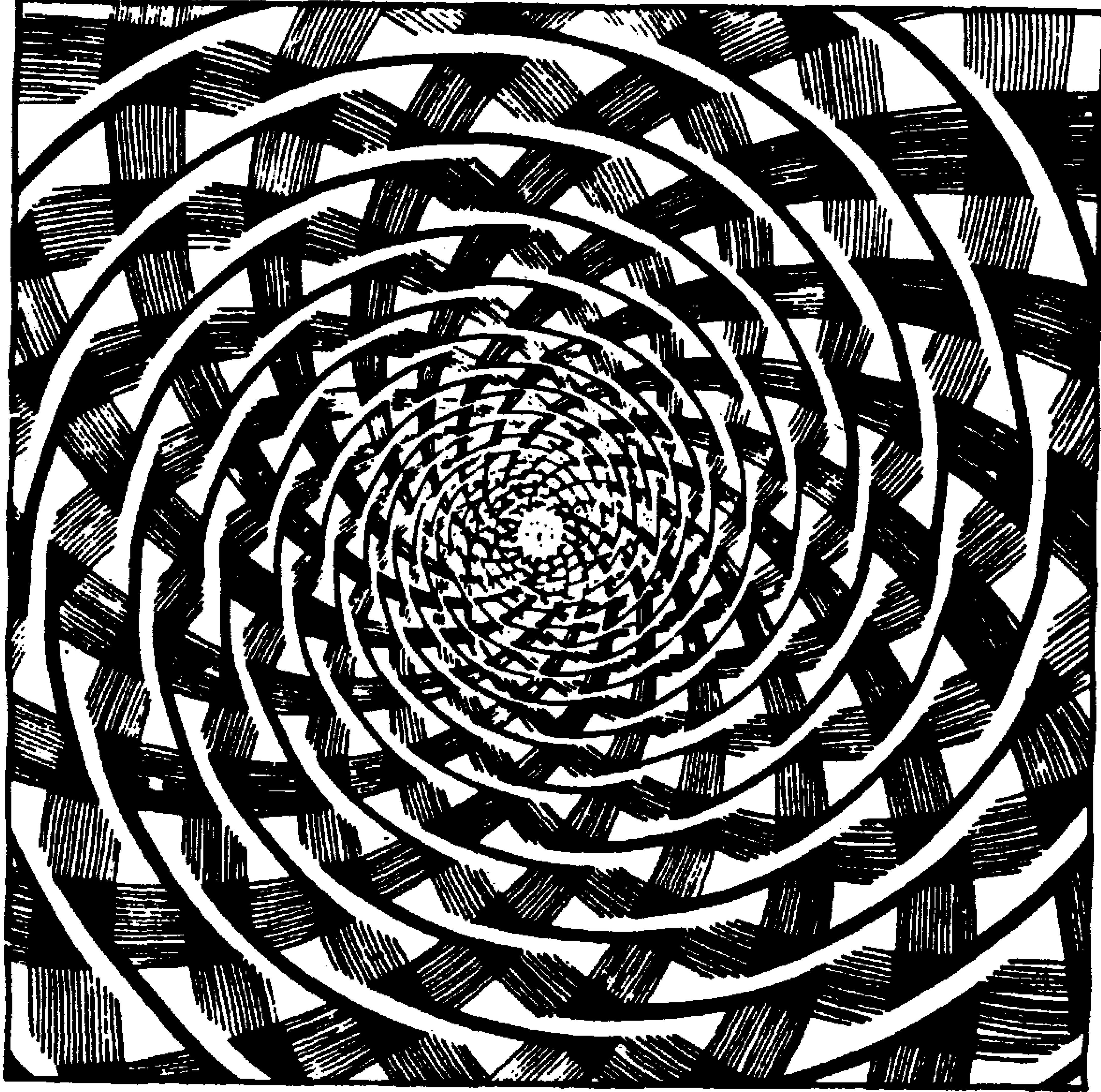
وقد كتب العالم العبقرى ايلر — الذى عاش فى القرن الثامن عشر — فى ابحاثه المشهورة « رسائل حول مختلف المسائل الطبيعية » ما يلى :

« وعلى هذا الخداع البصرى ، تقوم كافة الفنون الرائعة المنظر . فلو كنا قد اعتدنا الحكم على الاشياء . انطلاقا من الحقيقة ، لما استطعنا رؤية هذه الفنون (اى اللوحات الفنية) ، تماما كما لا يراها الاعمى . ولحاول كلّ رسام عبثا ، ان يمزج بين الالوان . لاننا سنقول عندما ننظر اليها : هنا اللون الاحمر . وهناك الازرق ، وهذا الاسود . وهذه خطوط بيضاء . وستكون كافة الاشياء فى مستوى واحد . ولن يكون هناك اختلاف فى المسافات ، ولن يمكننا وصف اى جسم . ولظهرت لنا كافة الاشياء التى اراد الرسام ان يعبر عنها ، بمثابة كتابة على ورقة . وبعد هذا كله ، اما كنا سنستحق الاشفاق ، لو اننا فقدنا الاحساس بهذه المتعة ، التى نشعر بها عند مشاهدة اللوحات الفنية والمناظر الجميلة على الدوام ؟ » .

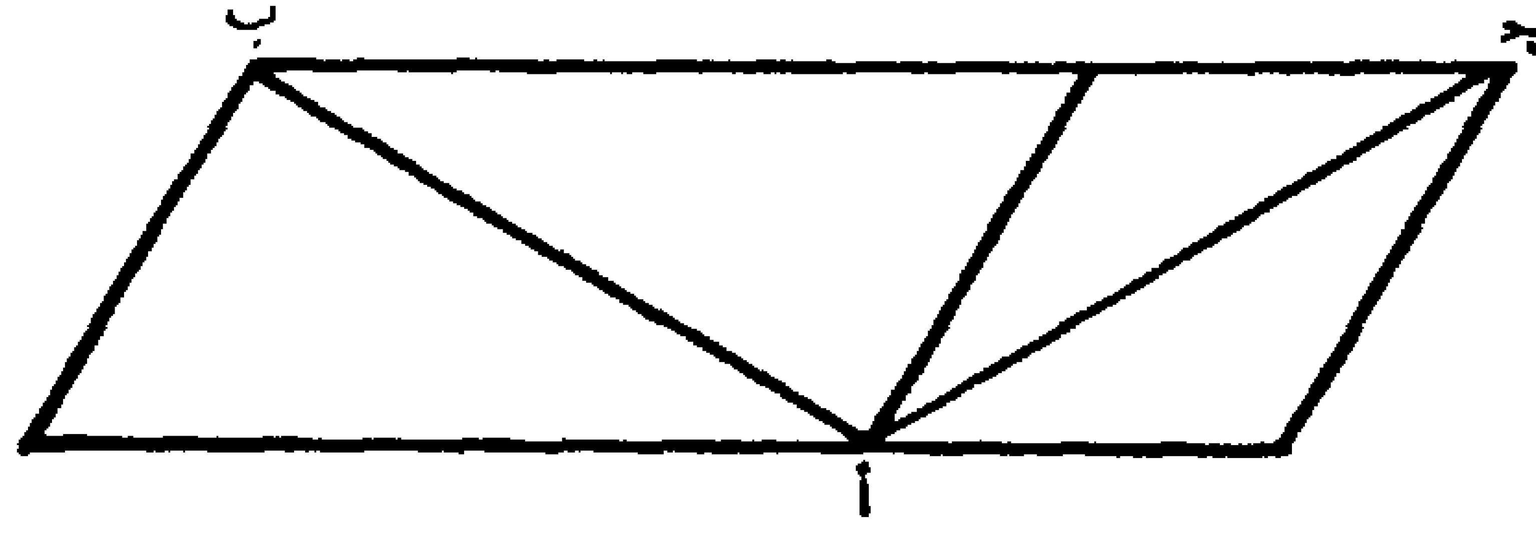
وتوجد انواع كثيرة جدا من خداع البصر . ويمكننا ان نملأ البوما كاملا بامثلة متنوعة من تلك الخدع المصورة . وكثير من هذه الخدع معروف لدى القراء جيدا ، وبعضها غير معروف بهذه الدرجة . واقدم الآن للقراء ، بعض الامثلة الممتعة الاخرى ، الخاصة بخداع البصر ، والقليلة الانتشار بين الجماهير . هناك تأثير خاص للخدعتين البصريّتين ، المبينتين فى الشكلين ١٤٢ و١٤٣ ، اللذين يحتويان على بعض الخطوط



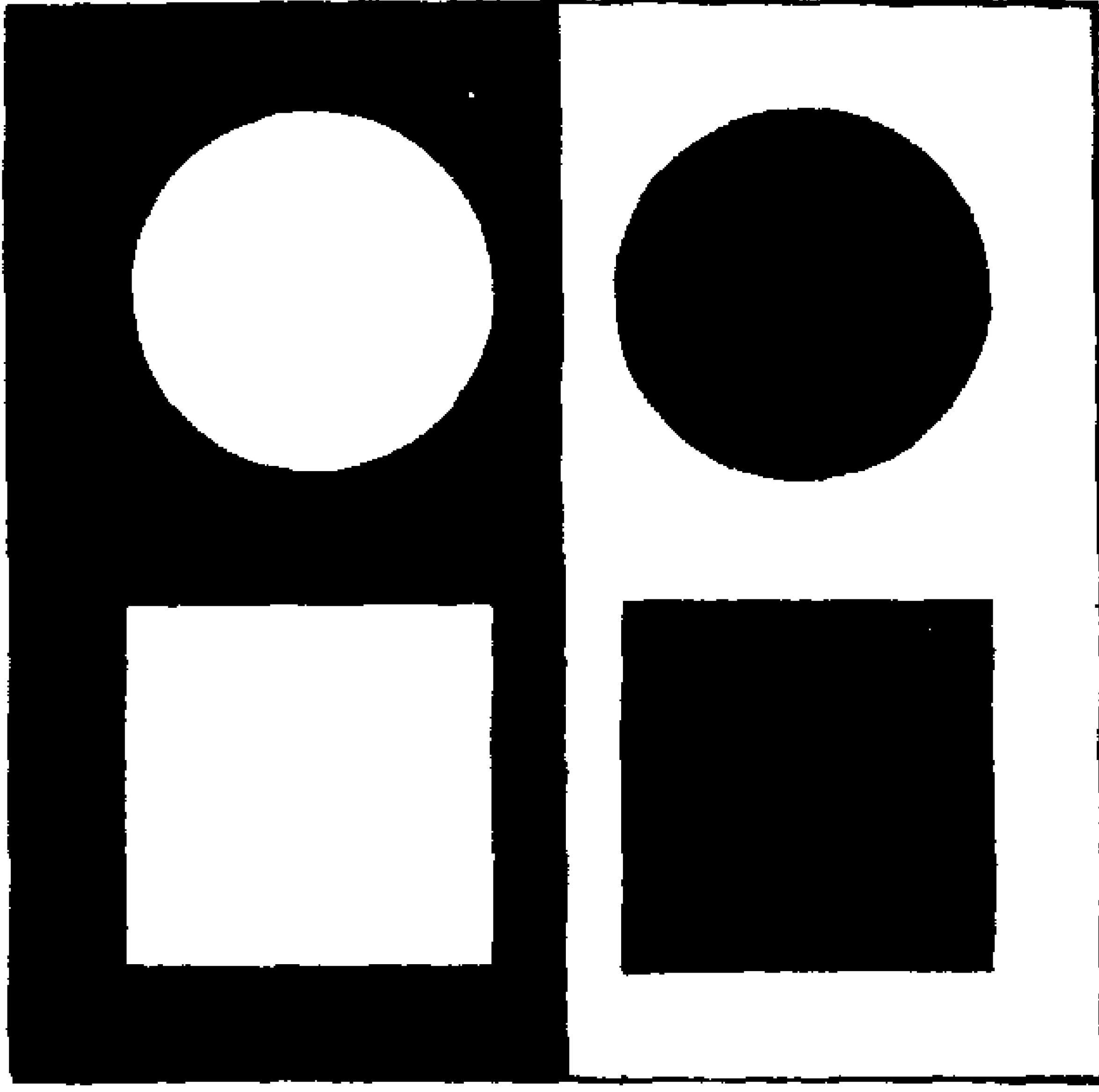
شكل ١٤٢ : ان هذه الحروف مرتبة بصورة عمودية .



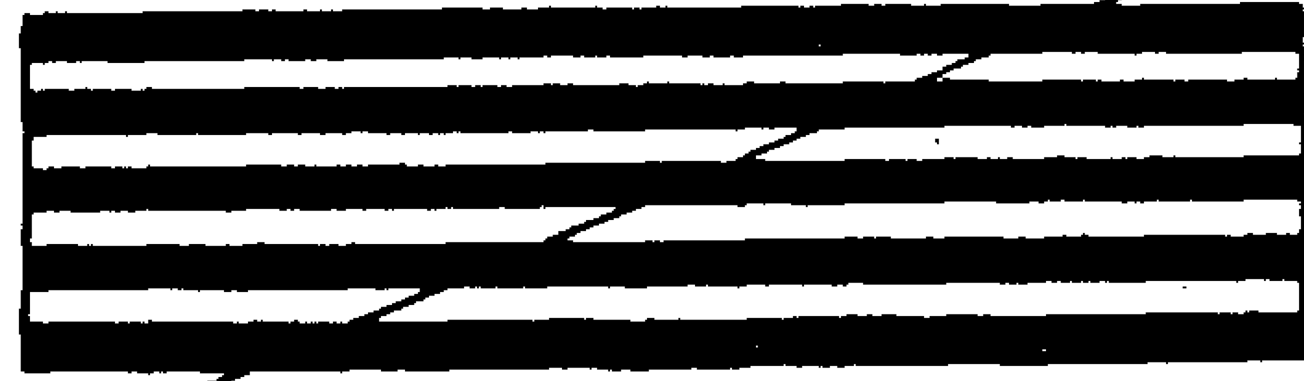
شكل ١٤٣ : يبدو للقارئ بأن هذه الخطوط حلزونية ، بينما هي عبارة عن دوائر مستقلة . ويمكن التأكد من ذلك بسهولة ، اذا تتبعنا تلك الخطوط برأس القلم .



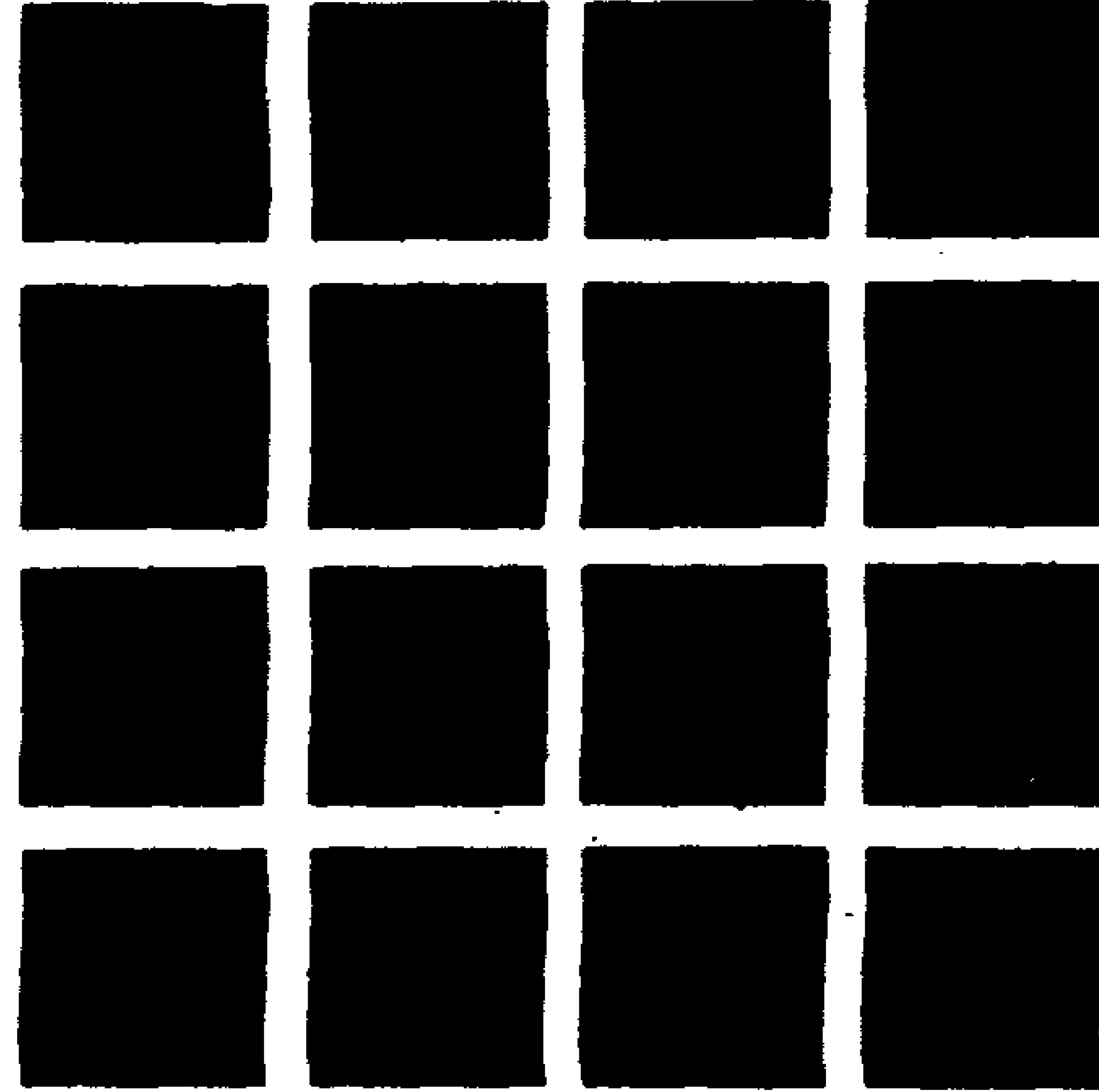
شكل ١٤٤ : ان المسافتين أب و أ جـ متساويتان ، ولو ان المسافة الاولى تبدو اكبر من الثانية .



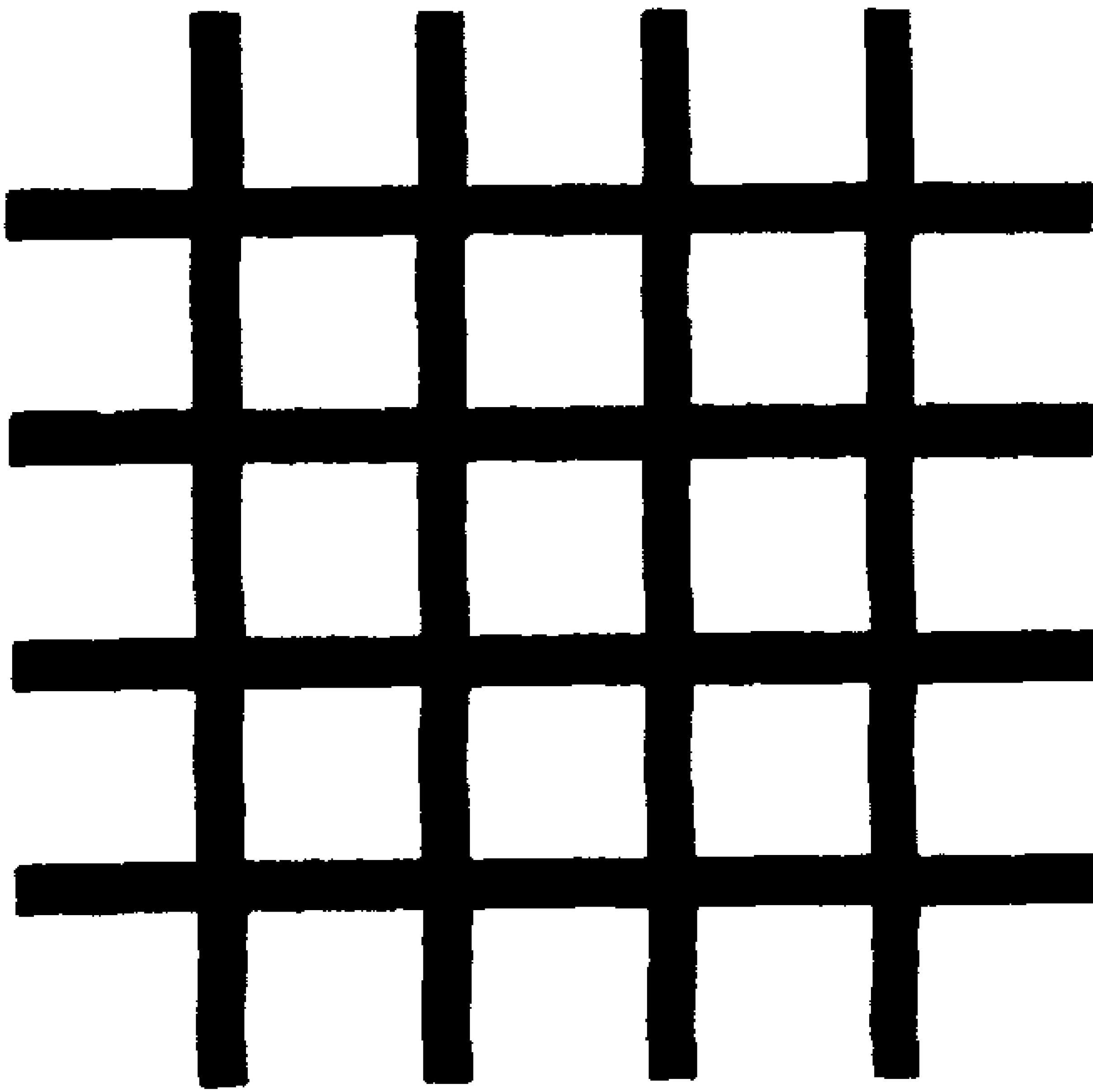
شكل ١٤٦ : ان المربعين الاسود والابيض متساويان تماما ، كما ان القرصين متساويان ايضا .



شكل ١٤٥ : يبدو للقارئ بأن الخط المائل ، الذى يقطع الشرائط البيضاء والسوداء ، هو عبارة عن خط منكسر .



شكل ١٤٧ : يبدو للقارئ بأن هناك بقعا رمادية مربعة تظهر وتختفى فجأة فى اماكن تقاطع الشرائط البيضاء مع بعضها . اما فى الواقع فان الشرائط ناصعة البياض كليا ، الامر الذى يمكن التأكد منه بسهولة وذلك بتغطية المربعات السوداء المجاورة للشرائط ، بورقة بيضاء . ان سبب ظهور تلك البقع يعود الى التباين .



شكل ١٤٨ : تظهر بقع رمادية خفيفة فى اماكن تقاطع الشرائط السوداء مع بعضها .

المرسومة على ورقة (لوحة) ذات خلفية شبكية . ان العين لاتصدق ابدا ، ان الحروف الموجودة فيَ الشكل ١٤٢ ، موضوعة بصورة عمودية . ومن الاصعب ان نصدق ان الشكل ١٤٣ ، لا يبيّن لنا حلزونا . وفى هذه الحالة ، سنضطر الى التأكد من الشكل بانفسنا ، بالفحص المباشر ، وذلك بوضع رأس القلم على احدى لفات الحلزون الموهوم ، ثم تحريكه تبعا للقوس ، دون الاقتراب من المركز او الابتعاد عنه . وبنفس الطريقة ، ولكن باستخدام فرجار ، يمكننا التأكد من ان الخط المستقيم أج (شكل ١٤٤) ، ليس اقصر من الخط المستقيم أب . اما حقيقة الخدع البصرية الاخرى التى تتضح من الاشكال ١٤٥ و١٤٦ و١٤٧ و١٤٨ ، فتفسّرها الكتابة الموجودة تحت كل منها . والحادثة الطريفة التالية ، تبيّن مدى تأثير الخدعة المبينة فى الشكل ١٤٧ : عندما تسلم احد ناشرى احدى طبعات الكتاب السابقة الكليشيه المذكورة من ورشة الزنكوغراف ، اعتقد بان الكليشيه غير متقنة الصنع ، واراد ان يعيدها الى الورشة لازالة البقع الرمادية الظاهرة عند تقاطع الاشرطة البيضاء فيها . ولكننى دخلت الغرفة بالصدفة ، وشرحت له حقيقة الامر .

الرؤية عند المصابين بقصر البصر

ان الشخص المصاب بقصر البصر ، لا يرى جيدا بدون نظارات . ولكن ، ماذا يرى على وجه الخصوص ، وكيف تبدو الاشياء بالنسبة اليه : هذا ما لا يعرفه الاشخاص الذين يتمتعون بنظر سليم . وبهذه المناسبة ، نقول بان عدد المصابين بقصر ، البصر كبير نوعا ما ، ومن المفيد ان نتعرف على الصورة التى يرون بها العالم المحيط بنا .

ويجب قبل كل شيء ، ان نذكرّ بان الشخص القصير البصر (بدون نظارات طبعا) ، لا يرى الرسوم المحيطية الحادة الملامح ، وتبدو كافة الاشياء امامه بصورة مشوشة . ان الشخص السليم النظر ، عندما ينظر الى احدى الاشجار ، فانه يميز الاوراق والاغصان المنفردة ، التى طبعت فى السماء بوضوح . اما قصير البصر ، فلا

يرى سوى كتلة خضراء مشوشة ، ذات ملامح خيالية غير واضحة . ناهيك عن الاجزاء الدقيقة التي تغيب عن ناظريه .

ويبدو وجه الانسان ، بالنسبة لقصار البصر ، اكثر حداثة وفتنة ، مما يبدو عليه بالنسبة للاشخاص الذين يتمتعون بنظر طبيعي . لان قصار البصر لا يرون التجاعيد والشوائب الاخرى ، الظاهرة على وجه الانسان ، ويرون لون البشرة الاحمر الخشن (طبيعيا كان ام اصطناعيا) ، وكأنه وردي رقيق . وكثيرا ما نتعجب من سذاجة بعض الاصدقاء ، الذين يخطئون في تقدير اعمار الناس ، فيصغرونها بمقدار ٢٠ سنة تقريبا ، ويدهشنا ذوقهم الغريب في تقدير الجمال ونتهمهم بعدم اللباقة ، عندما يحملقون في وجوهنا تماما ، وكأنهم يتجاهلوننا ... ان هذا كثيرا ما يحدث ، بسبب قصر البصر فقط.

ويتحدث الشاعر ديلفيج — وهو صديق الشاعر العظيم بوشكين ومعاصره — عن ذكرياته فيقول : « لقد منعوني في مدرسة ابناء الذوات — الليسيه — من وضع النظارة على عينيّ ، ولهذا كنت أرى كافة النساء رائعات الجمال ، ولكنني اصبت بخيبة امل كبيرة بعد التخرج من تلك المدرسة ! » . وعندما يتحدث اليك (بدون نظارة) شخص قصير البصر ، فانه لا يرى وجهك مطلقا ، او على كل حال يرى شيئا يختلف عما تتوقعه ، وتبدو امامه صورة مشوشة ، ولا تتعجب اذا قابلك بعد ساعة واحدة ، ولم يتعرف عليك ثانية . ويتعرف الشخص القصير البصر على الناس ، من اصواتهم ، اكثر مما يتعرف عليهم من وجوههم ، لان النقص في قوة البصر ، يعوض بزيادة في قوة السمع .

ومن الطريف ايضا ، ان نعرف كيف تبدو الدنيا في الليل ، بالنسبة لقصار البصر . عند الاضاءة الليلية : تبدو جميع الاجسام الوضّاحة — الانوار والمصابيح والنوافذ المضاءة — ، بالنسبة لقصار البصر ، وكأنها قد ازدادت حجما الى درجة كبيرة ، وبذلك تتحول الصورة الى منظر مشوش من البقع المضيئة ، التي ليس لها شكل معيّن ، ومن الاشباح السوداء المبهمة . فبدلا من خطوط الانوار الموجودة على الشارع ، يرى قصار البصر ، بقعتين او ثلاث بقع ضخمة مضيئة ، تحجب عن انظارهم كل ما تبقى

من الشارع . وهم لا يميّزون السيارة المقتربة منهم ، ويرون بدلا منها هالتين مضيئتين (المصابيح الامامية) ، ومن ورائهما كتلة سوداء .

وحتى ان منظر السماء في الليل يختلف تماما ، بالنسبة لقصار البصر ، عما هو عليه بالنسبة للناس السليمى البصر . ان الشخص القصير البصر ، لا يرى فى هذه الحالة ، سوى النجوم ذات الحجوم النجمية الثلاثة او الاربعة الاولى ، وبالتالى فبدلا من روءية عدة آلاف من النجوم ، لا يرى سوى عدة مئات منها . وهذه النجوم القليلة التى يشاهدها ، تبدو امامه كندف ضخمة من الضوء . والقمر يبدو بالنسبة لقصار البصر ، ضخما وقريبا جدا ، اما الهلال ، فيأخذ فى نظرهم شكلا خياليا مبتكرا .

ان سبب كل هذه التشوهات والزيادة الوهمية فى حجوم الاجسام ، يكمن فى تركيب عين الشخص القصير البصر . وتكون العين القصيرة البصر ، عميقة جدا ، بحيث ان انكساريتها المختلفة ، لا تجمع الاشعة القادمة من الاجسام الخارجية ، على شبكية العين بالضبط ، بل تجمعـّها امام الشبكية بمسافة قليلة . وهكذا تصل حزم الاشعة المتفرقة ، الى الشبكية المفروشة فى قعر العين ، وتطبع عليها صورا مشوشة وغير واضحة .

الفصل العاشر | الضوء والسمع

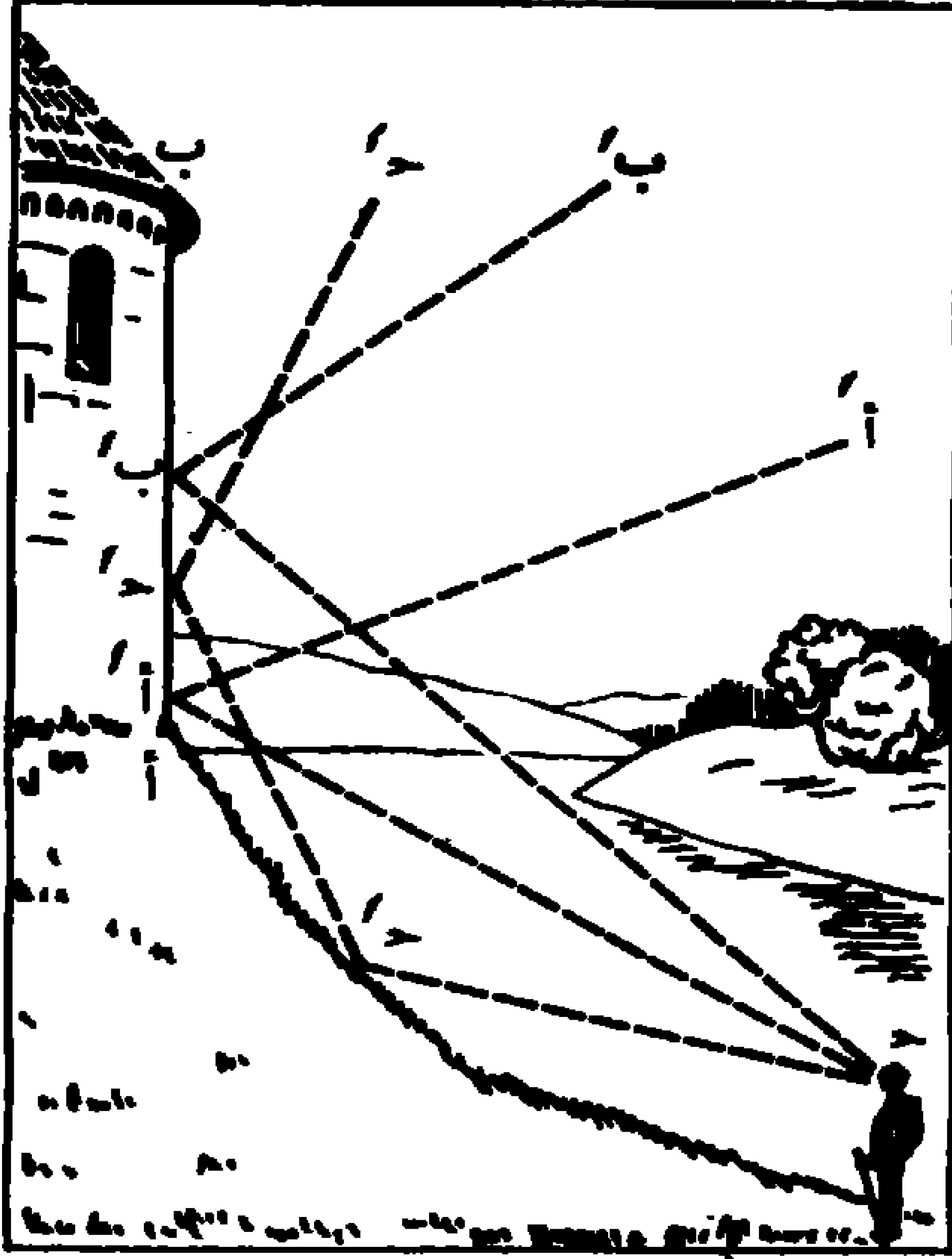
البحث عن الصدى

يحدثنا الكاتب الامريكي الساخر مارك توين ، في احدى قصصه الهزلية ، عن النكبات التي اصابت ذلك الرجل الذي اختار لنفسه هواية لا تخطر على بال انسان ، الا وهي جمع الصدى ! وقد قام هذا الرجل الغريب الاطوار ، بشراء جميع قطع الارض ، التي كان يتردد فيها الصدى المضاعف ، او اى صدى حقيقي غريب .

« وفي اول الامر اشترى في ولاية جورجيا ، صدى يتردد اربع مرات ، وآخر في ولاية ماريلاند ، يتردد ست مرات ، ثم اشترى في مدينة ميني ، صدى يتردد ثلاث عشرة مرة . وتمت الصفقة التالية في كنساس ، حيث اشترى صدى يتردد تسع مرات ، ثم تلتها صفقة اخرى بشراء صدى يتردد اثنتي عشرة مرة ، في تينيسي ، وكانت هذه الصفقة الاخيرة رخيصة ، لان الصدى كان بحاجة الى ترميم ، بعد انهيار قسم من الصخور التي كانت تردد الصدى . وقد ظن ان بالامكان ترميم الصدى ، باتمام اقامة الصخور . ولكن المهندس المعماري الذى تولى الامر ، لم يسبق له ان بنى صدى . ولذا ، فقد افسده في نهاية الامر . اذ اصبح بعد التعمير لا يصلح الا لان يكون مأوى للصمّ والبكم ... » .

ان هذا نوع من الهزل طبعا . ولكن توجد في الحقيقة ، انواع مدهشة من الصدى المضاعف ، في مختلف بقاع الارض ، وعلى الاغلب في المناطق الجبلية ، وقد اشتهرت بعض هذه المناطق على نطاق عالمي منذ قديم الزمان .

وفيما يلي نذكر بعض الاصداء المشهورة . ان الصدى في قصر دوستوك في انجلترا ، يردد ١٧ مقطعا صوتيا بوضوح . وردد الصدى في اطلال قصر ديرينبرج في ضواحي مدينة جالبيرشتاد بالمانيا ، ٢٧ مقطعا صوتيا ، قبل ان يتهدم احد جدرانه بتأثير القنابل . وهناك مكان معيّن في الدارة الصخرية ، بالقرب من مدينة اديرسباخ في تشيكوسلوفاكيا ، يردد فيه الصدى ٧ مقاطع ، لثلاث مرات على التوالي ، ولكن على بعد عدة خطوات من ذلك المكان ، لا يسمع اي صدى حتى لازيز طلقة البندقية . وقد



شكل ١٤٩ : انعدام الصدى .

كان اكبر صدى مضاعف ، يحدث في احد القصور القريبة من مدينة ميلان (غير موجود الآن) . اذ كان يردد ازيز الرصاصة المنطلقة من احدى نوافذ القصر ، عددا من المرات يتراوح بين ٤٠ — ٥٠ مرة ، ويردد الكلمة المنطوقة بصوت عال ، ٣٠ مرة .

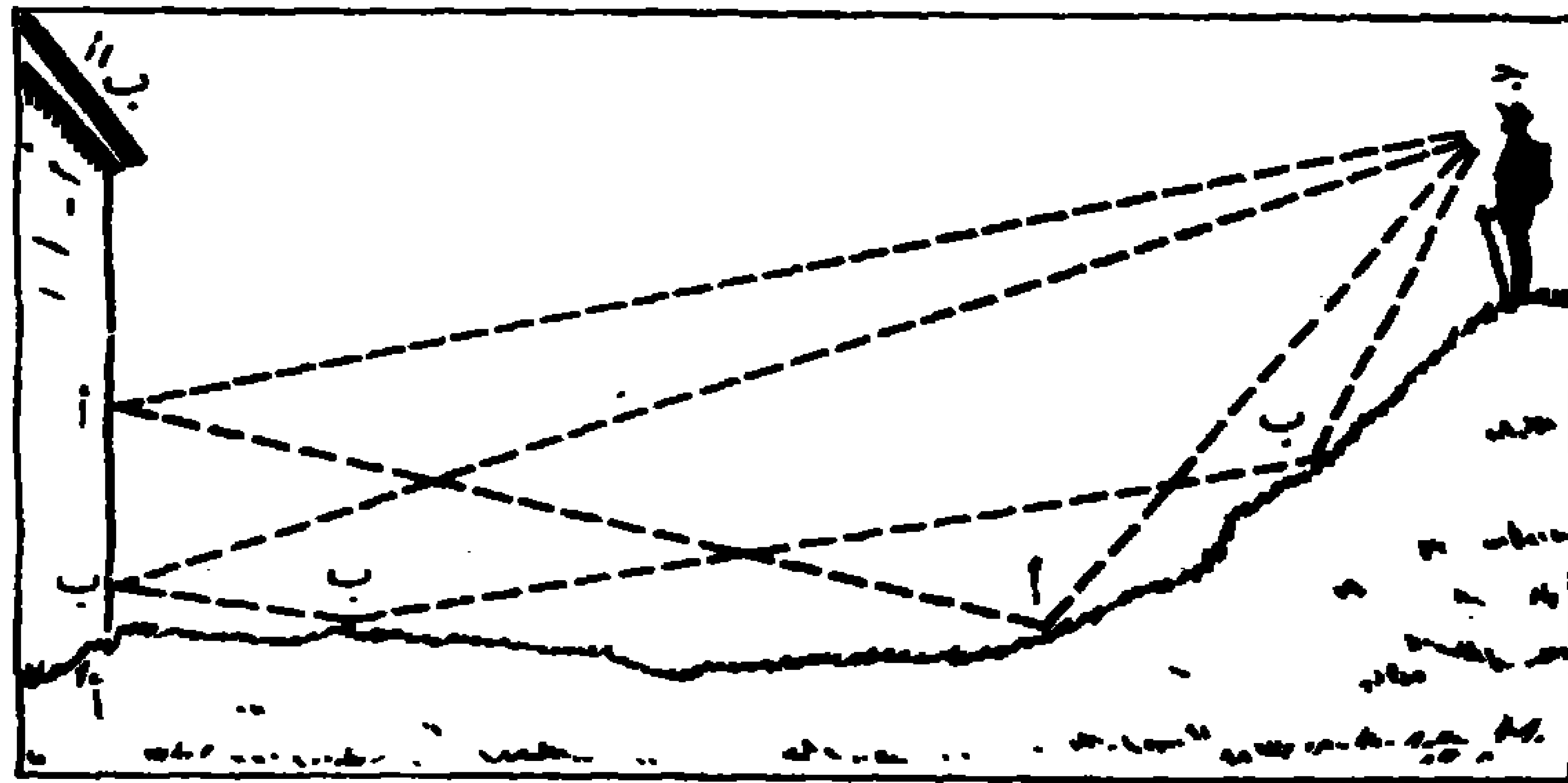
وليس من السهل العثور على المكان الذي يسمع فيه الصدى بوضوح ، ولو مرة واحدة . غير ان البحث عن مثل هذا المكان ، لا يتطلب جهدا كثيرا نوعا ما . ويوجد كثير من السهول المحاطة بالغابات ، وكثير من المروج في الغابات ، حيث يمكننا ان نصيح بصوت عال ، لنسمع الصدى الذي تردده الغابة ، بدرجة معينة من الوضوح .

ويكون الصدى في الجبال اكثر تنوعا مما هو عليه في السهول ، ولكن حدوثه في الجبال اقل كثيرا من حدوثه في السهول . وسماع الصدى في الجبال ، اصعب من سماعه في السهل المحاط بغابة .

والآن ، سنشرح سبب ذلك . ان الصدى ما هو الا عبارة عن ارتداد الموجات الصوتية ، المنعكسة عن احد الحواجز . وكما في حالة انعكاس الضوء ، فان زاوية سقوط

« الشعاع الصوتي » ، تساوى زاوية انعكاسه (ان الشعاع الصوتي ، هو الاتجاه الذى تسلكه الموجات الصوتية) .

والآن ، تصور انك تقف عند سفح احد الجبال (شكل ١٤٩) ، وان الحاجز الذي يجب ان يعكس الصوت ، يقع اعلى من المكان الذى تقف عليه ، مثلا فى أب . وتدرك بسهولة ، ان الموجات الصوتية التى تنتشر باتجاهات الخطوط جـ أ َ ، جـ ب َ ، جـ جـ َ ، سوف لا تنعكس واصلة الى اذنك ، بل تنعكس متشتتة فى الفضاء باتجاهات الخطوط أ َ أ َ ، ب َ ب َ ، جـ َ جـ َ. وسوف يختلف الامر ، لو وقفت فى مكان يقع فى مستوى الحاجز ، او حتى اعلى منه بقليل (شكل ١٥٠) . ان الصوت المتجه الى الاسفل ، باتجاه الخطوط جـ أ و جـ ب ، سوف يعود واصلا الى اذنك باتجاه الخطين المنكسرين جـ أأ جـ او جـ ب ب جـ ، بعد ان ينعكس عن الارض مرة واحدة او مرتين . ان الوادى الموجود بين النقطتين ، سوف يساعد على وضوح الصدى ، لانه يعمل عندئذ عمل المرآة المقعرة . ويحدث العكس ، اذا كانت الارض الموجودة بين النقطتين ، محدبة ، اذ يصل الصوت الى الاذن بصورة ضعيفة ، او لا يصلها البتّة . ان مثل هذه الارض المحدبة ، تشتت « اشعة » الصوت ، كما تشتت المرآة المحدبة اشعة الضوء .



شكل ١٥٠ : صدى واضح .

ان البحث عن الصدى فى المناطق الوعرة ، يتطلب حذاقة معينة . حتى عند العثور على المكان الملائم ، يجب بعد ذلك ان نعرف كيف نحدث الصدى . ومن الضرورى قبل كل شئ ، عدم الوقوف على مقربة تامة من الحاجز ، اذ يجب ان يقطع الصوت ، مسافة طويلة كافية ، والا رجع الصدى مبكرا ، واندمج بالصوت نفسه . واذا علمنا بان الصوت يقطع ٣٤٠ م فى الثانية ، يمكننا بسهولة ان نفهم ، باننا عندما نقف على بعد ٨٥ م من الحاجز ، يجب ان نسمع الصدى ، بعد نصف ثانية من حدوث الصوت بالضبط .

ان الصدى لا يستجيب لكافة الاصوات بصورة متساوية ، فكلما زادت حدة الصوت ، كلما زاد وضوح الصدى . واحسن طريقة لاحداث الصدى ، هى التصفيق باليدين . وصوت الانسان اقل ملاءمة لهذا الغرض ، خاصة صوت الرجل . والاصوات الرفيعة لدى النساء والاطفال ، تحدث صدى اكثر وضوحا .

الصوت بدلا من شريط القياس

اذا عرفنا سرعة انتشار الصوت فى الهواء ، يمكننا استخدامها بعد ذلك لقياس المسافة التى تفصلنا عن الاجسام التى لا نستطيع الوصول اليها . وقد وصف جول فيرن مثل هذه الحالة فى روايته « رحلة الى مركز الارض » . وخلال الرحلة فى جوف الارض ، فقد اثنان من الرحالة بعضهما البعض ، وهما البروفيسور وابن اخيه . واخيرا ، عندما تمكنا فى النهاية من تبادل سماع الاصوات من مسافة بعيدة ، جرى بينهما الحديث التالى : صاح ابن اخ البروفيسور مناديا عمه :

— اين انت ايها العم ؟ !

وبعد مدة قليلة سمع صوت البروفيسور :

— انا هنا يا صغيرى ، ماذا بك ؟

— اريد قبل كل شىء ان اعرف ما هى المسافة التى تفصلنا عن بعضنا ؟

ـ ليس من الصعب معرفة ذلك .

ـ هل بحوزتك كرونومتر ؟

ـ نعم .

ـ ضعه اذن امامك ، ثم انطق اسمى ، ولاحظ الوقت الذى تبدأ فيه الكلام بالضبط . وانا بدورى ساعيد نطق الاسم حالما يصل الى سمعى ، ويجب كذلك ان تلاحظ الوقت الذى تسمع فيه جوابى بالضبط .

ـ حسنا . عندئذ سيكون نصف الوقت الذى يمضى بين السؤال والجواب ، بمثابة الوقت الذى يقطع فيه الصوت ، المسافة الموجودة بيننا . هل انت مستعد ؟

ـ نعم .

ـ انتبه ! سانطق اسمك .

ويستمر ابن الاخ فى حديثه قائلا : والصقت اذنى بالحائط . وما ان سمعت كلمة « اكسيل » ـ اسم المتحدث ـ حتى رددتها فى الحال ، ورحت انتظر .

واتانى صوت العم قائلا :

ـ اربعون ثانية ، اذن وصلنى الصوت خلال عشرين ثانية . ولما كان الصوت يقطع ثلث كيلومتر فى الثانية الواحدة ، تكون المسافة التى تفصلنا عن بعضنا ، مساوية لسبعة كيلومترات تقريبا (لقد ارتكب المؤلف هنا خطأ فى الحساب ، وذلك لان سرعة الصوت تزداد بزيادة كثافة الوسط الذى ينتقل فيه . مثلا ، سرعة الصوت فى ماء البحر هى ١٤٩٠ م/ثانية ، وتزداد سرعته كثيرا فى المواد الصلبة) .

واذا كان القارئ قد فهم جيدا كلّ ما جاء فى الحديث السابق ، سيكون باستطاعته عندئذ ، حل المسألة التالية :

اذا سمع احد الاشخاص صفير قطار بعيد ، بعد ثانية ونصف من رؤية الدخان الابيض ، الذى ينشأ عنه الصفير ، فما هى المسافة الموجودة بينه وبين القطار ؟

المرايا الصوتية

ان كلاً من جدار الغابة ، والسياج الخشبي العالي والمبنى والجبل ، وبصورة عامة كل حاجز يعكس الصدى ، ما هو الا عبارة عن مرآة صوتية : اذ انه يعكس الصوت ، تماما كما تعكس المرآة المستوية الضوء .

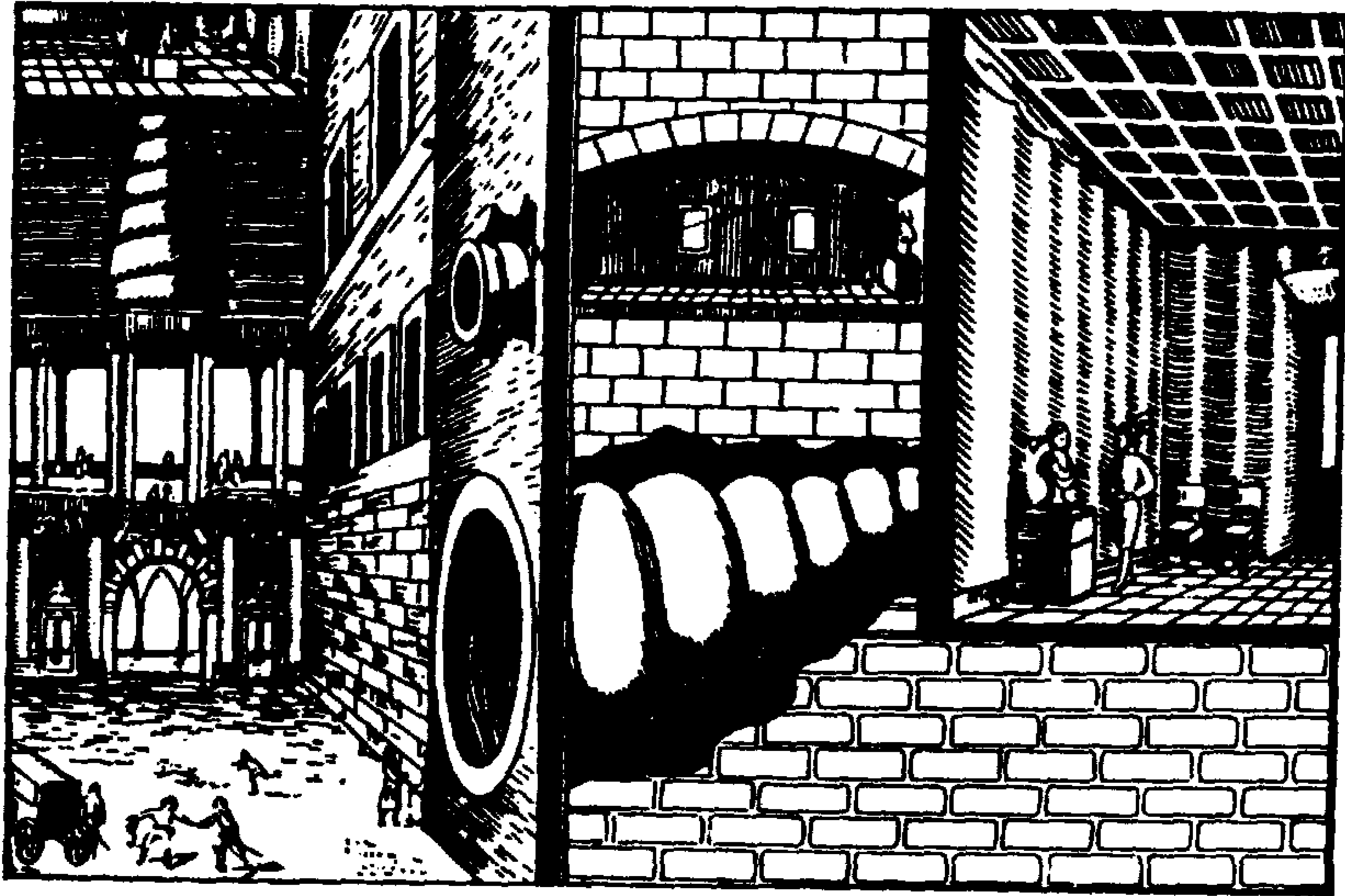
ولا تكون المرايا الصوتية مستوية فقط ، بل تكون مقعرة ايضا . ان المرايا الصوتية المقعرة ، تعمل عمل العاكس ، حيث تركز « الاشعة الصوتية » في بؤرتها .

ويمكننا القيام بتجربة ممتعة من هذا القبيل ، اذا احضرنا طبقين من اطباق الحساء . نضع احد الطبقين على المنضدة ، ونتناول ساعة جيب ، ونضعها في يدنا على بعد عدة سنتمترات عن قعر الطبق . ونمسك الطبق الثاني قريبا من اذننا ، كما يبيّن الشكل ١٥١ . فاذا كان وضع الساعة والاذن والطبقين ، صحيحا (يتم التوصل الى ذلك بعد عدد من المحاولات) ، لسمعنا دقات الساعة ، كما لو كانت تنبعث من الطبق القريب من الاذن بالضبط . وعندما نغمض عينينا ، يزداد تأثير ذلك الانطباع ، حتى اننا لا نستطيع في هذه الحالة ان نميّز تماما ، باية يد نمسك الساعة – باليمنى ام باليسرى .

وكثيرا ما قام بناءوا القصور في القرون الوسطى ، بالعمل على خلق العجائب الصوتية ، وذلك بوضع تمثال نصفي اما في بؤرة مرآة صوتية مقعرة ، او عند نهاية انبوب تخاطب ، مخفي في الجدار بصورة فنيّة . ويبيّن الشكل ١٥٢ ، المأخوذ من كتاب قديم صدر في القرن السادس عشر ، تلك الادوات المنجزة بحيلة ودهاء : سقف على هيئة عقد (قبّة) ، يوّجه الى شفتي التمثال النصفي ، الاصوات القادمة من الخارج عن طريق انبوب التخاطب ، وهناك انابيب تخاطب ضخمة ، مثبتة بالطوب في البناية ، تنقل الاصوات المختلفة من الفناء الخارجي الى التماثيل المرمرية ، المثبتة عند جدران احدى قاعات القصر .. الخ . ويبدو لمن يزور مثل هذه الا ماكن ، وكأن التماثيل المرمرية ، تتهامس وتغني ... وما شابه ذلك .



شكل ١٥١ : المرايا الصوتية المقعرة .



شكل ١٥٢ : مصادر الاصوات العجيبة فى احد القصور القديمة – التماثيل الناطقة (الصور مأخوذة من كتاب وضعه اثاناسيوس كيرخير عام ١٥٦٠) .

الاصوات فى صالة المسرح

ان من تردد كثيرا على المسارح وقاعات الموسيقى ، يعرف جيدا بان هناك قاعات تسمع فيها الاصوات بنغم جيد ، واخرى تسمع فيها الاصوات بنغم ردئ . وفى بعض تلك القاعات تسمع اصوات الغناء والموسيقى من مسافة بعيدة بوضوح ، وفى البعض الآخر ، لا تسمع الاصوات بوضوح ، حتى من مسافة قريبة .

وفى الماضى القريب ، كان بناء المسرح الذى تعطى صالته اصوات جيدة ، يعتبر من قبيل الصدف السعيدة . وقد وجدت فى الوقت الحاضر وسائل خاصة للتخلص من الارتداد ، الذى يفسد قابلية السمع . وسوف لا نشرح فى هذا الكتاب ، تلك الوسائل ، التى لاتهم سوى المعماريين وحدهم . ونشير هنا الى شيء واحد فقط ، هو

وقد احدث جهاز قياس الاعماق بواسطة الصدى (مسبار بالصدى) ، انقلابا حقيقيا في عمليات قياس اعماق البحار . فقد كان من الممكن استخدام الاجهزة القديمة لقياس الاعماق ، في حالة وقوف السفينة فقط ، علاوة على الفترة الزمنية الطويلة ، التي كانت تستغرقها العملية . كان شريط القياس الملفوف على بكرة ، يغطّس في الماء بسرعة بطيئة (١٥٠ م/دقيقة) ، ويلف ثانية بنفس تلك السرعة تقريبا . وكانت عملية قياس عمق قدره ٣ كم ، بهذه الطريقة ، تتطلب ٤٥ دقيقة . ولكن بمساعدة الجهاز الحديث (المسبار بالصدى) يمكن القيام بنفس العملية في عدة ثوان ، اثناء حركة السفينة ، مع الحصول على نتائج احسن وادق بكثير . ان الخطأ في هذه الحالة لا يزيد على ربع متر (ويحدد الوقت اللازم لذلك، الى درجة من الدقة تصل الى $\frac{١}{٣٠٠٠}$ من الثانية) . فاذا كانت للقياس المضبوط للاعماق الكبيرة ، اهمية كبيرة بالنسبة لعلم جغرافيا المحيطات ، فان امكانية تحديد عمق المياه الضحلة ، بسرعة ودقة ، تمثل عونا حقيقيا لعملية الملاحة البحرية ، حيث تجعلها مأمونة تماما . اذ انه بفضل جهاز المسبار بالصدى ، تستطيع السفينة الاقتراب من الساحل بسرعة واطمئنان .

وفي الاجهزة الحديثة من هذا النوع ، لا تستخدم اصوات عادية ، بل اصوات كثيفة منخفضة جدا ، لا تستطيع اذن الانسان سماعها ، يقدر ترددها بعدة ملايين من الذبذبات في الثانية الواحدة . وتستحدث هذه الاصوات بتذبذب صفيحة من الكوارتز (البيزوكوارتز) ، موضوعة في مجال كهربائي عالي التردد .

ان جهاز المسبار بالصدى ، من النوع الحديث ، اخترع لاول مرة في سنوات الحرب العالمية الاولى ، من قبل العالم الفيزيائي الفرنسي لانجيفين ، لغرض اكتشاف مواقع الغواصات الالمانية .

طنين الحشرات

لماذا يصدر الطنين عن الحشرات ؟ في اكثر الحالات لا تملك الحشرات مطلقا ، اعضاء خاصة تحدث الطنين ، ولا يسمع الطنين الا عند الطيران . وهذا الامر يعود الى

ان الحشرات عند طيرانها ، تخفق باجنحتها عدة مئات من المرات فى الثانية الواحدة . وبذلك يكون الجناح الصغير للحشرة ، عبارة عن صفيحة متذبذبة . ونحن نعلم ان كل صفيحة سريعة الذبذبة (اكثر من ١٦ ذبذبة فى الثانية) ، تحدث نغمة ذات درجة معينة .

والآن سيعلم القارئ ، كيف تم تحديد عدد خفقات جناح هذه الحشرة او تلك ، فى الثانية الواحدة عند طيرانها فى الجو . للقيام بذلك يكفى ان نحدد باذننا . درجة النغم الصادر عن تلك الحشرة فقط . لان لكل نغم ما يلائمه من تردد الذبذبات . وقد اثبت بواسطة « آلة التصوير البطيئة الحركة » — راجع الفصل الاول — ان عدد خفقات اجنحة كل حشرة ، ثابت لا يتغير تقريبا . وعندما تتحكم الحشرة فى طيرانها . فانها تغيّر حجم الخفقة (سعة الذبذبة) وميل الاجنحة فقط . اما عدد الخفقات فى الثانية . فيزداد بتأثير البرد فقط . وهذا هو سبب عدم تغيّر النغمة الصادرة عن الحشرات عند طيرانها . لقد وجد مثلا ، ان الذبابة العادية (التى تصدر عنها النغمة ف) ، تقوم فى الثانية الواحدة بـ ٣٥٢ خفقة جناح . والنحلة ، التى تصدر عنها النغمة أ ، تقوم فى الثانية الواحدة بـ ٤٤٠ خفقة جناح ، عندما تطير بحريّة ، و بـ ٣٣٠ خفقة فقط (النغمة ب) عندما تطير وهى محملة بالعسل . اما الصراصير التى تصدر عنها اثناء طيرانها ، نغمات اقل درجة ، فانها تحرك اجنحتها بشكل اقل رشاقة ، على عكس البعوضة ، التى يتراوح عدد خفقات اجنحتها بين ٥٠٠ — ٦٠٠ مرة فى الثانية الواحدة . ولاجل المقارنة ، نذكر هنا ان محرك الطائرة يدور فى الثانية الواحدة ٢٥ مرة فى المعدّل .

خداع السمع

اذا كنا لسبب ما ، قد تصورنا ان مصدر الضوضاء الخافتة ، لا يقع بالقرب منا ، بل يبعد عنا كثيرا ، فان الصوت يبدو لنا اعلى من ذلك بكثير . ان مثل هذه الحالات من خداع السمع ، تحدث لنا غالبا ، ولكننا لا نلتفت اليها دائما .

واليكم الحادثة الطريفة التالية ، التى وصفها العالم الامريكى ويليام جيمس فى كتابه « علم النفس » :

« حدث مرة ان جلست لأقرأ فى وقت متأخر من الليل ، وفجأة سمعت ضوضاء مزعجة انبعثت من القسم العلوى للمنزل ، ثم انقطعت ، ولكنها انبعثت مرة اخرى بعد دقيقة واحدة . وخرجت الى الصالة لاسمع الضوضاء ، ولكن لم يكن لها اثر هناك . وما ان عدت الى غرفتى وتناولت كتابى ، حتى انبعثت ضوضاء مزعجة قوية ، كتلك التى تسبق العاصفة او الفيضان ، وكانت تنبعث من كل مكان . وخرجت الى الصالة ثانية وانا شديد الانزعاج ، ولكن الضوضاء انقطعت مرة اخرى ايضا .

وعندما كنت عائدا الى غرفتى مرة ثانية ، اكتشفت فجأة ان الضوضاء صدرت عن شخير كلب صغير نائم على الارض ! ...

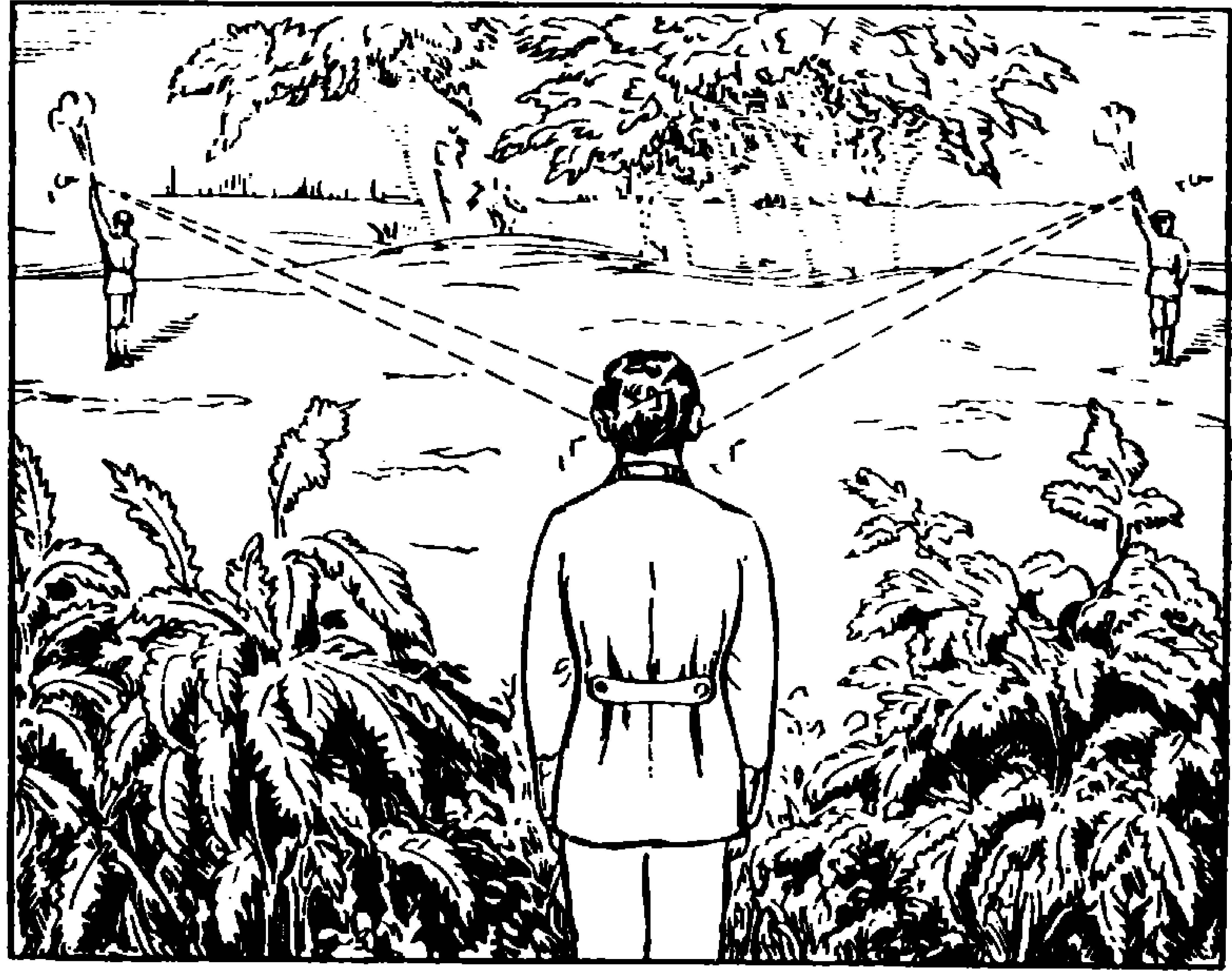
والطريف هنا ، اننى بعد ان اكتشفت السبب الحقيقى للضوضاء ، لم يعد فى استطاعتى ، رغم كل الجهود التى بذلتها ، ان استرجع فى سمعى ، تلك الضوضاء التى حدثت قبل دقائق » .

ولعل القارئ يتذكر حادثة مماثلة ، وقعت له فى حياته . اما انا شخصيا فقد راقبت مثل هذه الحوادث عدة مرات .

اين يصوت الصرصور ؟

كثيرا ما نخطئ ، عندما نعين الاتجاه الذى يأتى منه الصوت ، بدلا من تعيين المسافة التى تفصلنا عن مصدر الصوت .

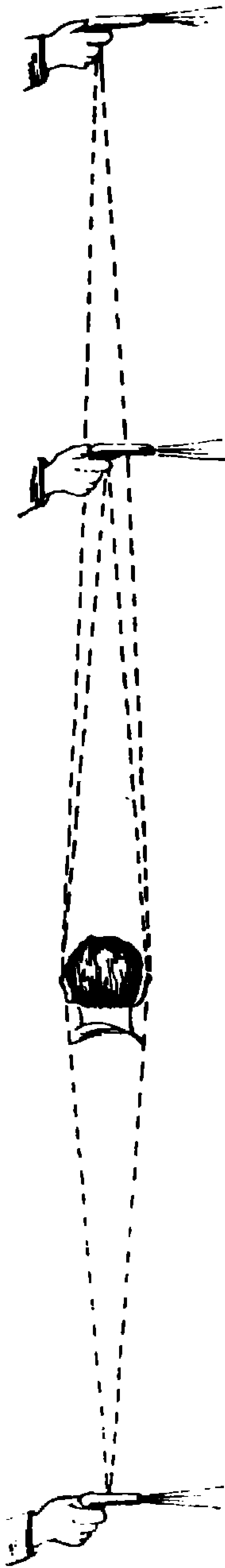
ان الاذنين تميزان بوضوح ، صوت الطلقة القادم من اليمين ام من اليسار (شكل ١٥٤) . ولكنهما غالبا ما تعجزان عن تحديد موقع مصدر الصوت ، اذا كان واقعا امامنا او خلفنا تماما (شكل ١٥٥) ، وذلك لان الرصاصة التى تطلق من الامام ، كثيرا ما تسمع وكأنها قد اطلقت من الخلف . اننا فى هذه الحالات ، نستطيع فقط ــ تبعا لقوة



شكل ١٥٤ : من اية جهة اطلقت الرصاصة ؟ من الجهة اليسرى ام من الجهة اليمنى ؟

الصوت ــ ان نميّز الطلقة البعيدة عن الطلقة القريبة . واليكم التجربة التالية ، التى نستطيع ان نتعلم منها الشىء الكثير .

نربط عينى احد الاصدقاء ، ونجلسه فى وسط الغرفة ، ونطلب منه ان يجلس بهدوء والا يدير رأسه . ثم نأخذ بيدينا قطعتين من النقود ، ونقرع احداهما بالاخرى ، مع المحافظة على وضعهما طوال الوقت ، فى المستوى العمودى التخيّلى ، الذى يمر بين



شكل ١٥٥ : من اين اطلقت الرصاصة ؟ من الامام ام من الوراء ؟

عيني ذلك الصديق ، ويقسم رأسه الى نصفين متساويين . ثم اطلب من صديقك ان يحاول تعيين موقع قطعتي النقود الرنانتين . فاذا كان الرنين صادرا من احدى زوايا الغرفة ، فان ذلك الصديق سيشير الى الزاوية المقابلة لها تماما ! واذا حرفنا القطعتين الرنانتين عن المستوى المذكور ، فان الخطأ سوف لا يكون كبيرا في هذه الحالة . وهذا شيء مفهوم ، ذلك لان الاذن القريبة ستسمع الصوت بصورة اسرع قليلا واعلى من السابق ، وبفضل ذلك ، يستطيع الصديق المذكور تعيين مصدر الصوت .

وهذه التجربة ، توضح لنا بالمناسبة ، لماذا يصعب علينا تعيين موضع الصرصور ، الذي يصوت في العشب . ان الصرصرة الحادة تسمع على بعد خطوتين منا ، الى يمين الطريق . ونوجه نظرنا الى مصدر الصوت ، ولكننا لا نرى شيئا ، بل نسمع الصوت آتيا من الجهة اليسرى للطريق . وعندما ندير رأسنا الى تلك الجهة ، نسمع الصوت آتيا من جهة ثالثة مختلفة . وكلما ادرنا رأسنا بسرعة ، الى الجهة التي ينبعث منها الصرير ، كلما خفت (تهادت) قفزات ذلك الموسيقي المختفي . ولكن في الحقيقة ، تكون الحشرة جالسة في مكان واحد . اما قفزاتها المدهشة ، فهي من بنات افكارنا وتصوراتنا الناجمة عن خداع السمع . ان الخطأ الذي نرتكبه هنا ، يتلخص في اننا ندير رأسنا ، بطريقة تجعل الصرصور يقع في مستوى التماثل العمودي لرأسنا . وفي هذه الحالة ، كما نعلم ، يسهل الوقوع في الخطأ عند تعيين اتجاه الصوت . اذ ان صرصرة الصرصور تنبعث امامنا ، ولكننا نعتقد خطأ بانها تنبعث من الجهة المقابلة .

ومن هنا نتوصل الى النتيجة العملية التالية :

اذا اردنا تحديد المكان الذي تنبعث منه صرصرة الصرصور وتغريد الطير ، وما شابه ذلك من الاصوات القادمة من بعيد ، فلا يجب ان ندير وجوهنا نحو الصوت ، بل نديرها الى جهة اخرى مختلفة . وبالمناسبة ، فاننا نقوم بذلك في الواقع ، عندما « ننصّب اذنينا » ، كما يعبر عن ذلك .

عجائب السمع

عندما نقضم الخبز اليابس باسناننا ، نسمع صوتا يصم الأذن ، بينما يقضم الشخص الجالس بقربنا نفس الخبز ، بدون حدوث اى صوت مزعج . كيف تمكن جارنا من التخلص من ذلك الصوت ، وباية حيلة ؟

يتلخص الامر في ان الضوضاء والصرصرة : تصلان الى آذاننا فقط ، ولا تقلقان آذان جيراننا الا قليلا جدا . ان عظام الجمجمة ، مثل بقية الاجسام الصلبة الاخرى بصورة عامة ، هي اجسام مرنة ، توصل الصوت بصورة جيدة جدا . والصوت بدوره يصبح احيانا قويا جدا ، عند مروره في وسط صلب (كثيف) . وعندما تصل الصرصرة الى الاذن عن طريق الهواء . تتقبلها الاخيرة على هيئة ضوضاء خفيفة ، ولكن هذه الصرصرة بالذات ، تتحول الى قعقعة عندما تنتقل الى عصب السمع عن طريق عظام الجمجمة الصلبة . واليكم تجربة اخرى في هذا المضمار : نضغط باسناننا على حلقة ساعة الجيب ، ونسد آذاننا جيدا باصابعنا . وفي هذه الحالة سوف نسمع ضربات ثقيلة . اذ يرتفع صوت دقات الساعة .

ويقال بان الموسيقار الالماني العظيم بيتهوفن ، كان وهو اطرش ، يسمع العزف على البيانو ، بوضع احد طرفي عصاه على البيانو ، ووضع الطرف الآخر قرب اسنانه . وبنفس الطريقة ، يستطيع اولئك الطرش الذين سلمت اذنهم الداخلية . ان يرقصوا على انغام الموسيقى ، لان الاصوات تصل الى اعصابهم السمعية عن طريق الارض والعظام .

«اعاجيب التكلم من البطن»

ان الاعاجيب المدهشة ، التي يقوم بها المتكلمون من بطونهم ، مبنيّة على نفس خصائص السمع ، التي تحدثنا عنها ، في الصفحات ٢٦٦ — ٢٦٨ .

لقد كتب البروفيسور جامبسون ما يلي : « اذا سار احد الاشخاص على قمة السطح ، فان صوته يحدث في داخل الدار ، همسا خافتا . وكلما ابتعد عن القمة باتجاه الحافة ،

زاد خفوت الهمس . واذا جلسنا فى احدى غرف الدار ، فان اذننا لا تستطيع تمييز اتجاه الصوت وبعد مصدره عنا . ولكن تبعا لتغيّر الصوت ، يستنتج عقلنا بان مصدره يبتعد عنا . اما اذا اخبرنا الصوت بالذات ، بان صاحبه يسير فوق السطح . فاننا سنصدق ذلك بسهولة . واخيرا . اذا تحدث احد الاشخاص مع الشخص صاحب الصوت . من خارج ذلك المكان ، وحصل منه على بعض الاجوبة التوضيحية . لكانت الصورة واضحة امامنا تماما .

وهذه هى الشروط ، التى تلائم عمل المتكلم من بطنه . وعندما يأتى دور الكلام الى الشخص الموجود فوق السطح . فان الشخص المتكلم من بطنه يدمدم بصوت خافت . اما عندما يصله الدور فى الكلام . فانه يتكلم بصوت واضح وقوى ، لكى يخفى التباين مع بقية الاصوات . ان محتوى ملاحظاته واجوبة محدثه المزعوم . تقوّى الصورة الخيالية . ان نقطة الضعف الوحيدة فى هذه الخدعة ، ربما تكون بادية من كون الصوت الموهوم للشخص الموجود فى الخارج ، يصدر فى الواقع عن شخص موجود على خشبة المسرح ، اى يكون اتجاهه مزورا .

« ويجب كذلك ان نلاحظ بان اسم المتكلم من بطنه ، هو اسم لا يلائم واقع الحال . ويجب على المتكلم من بطنه ان يخفى عن مستمعيه ، تلك الحقيقة التى تظهر عندما يأتى دور الكلام الى زميله ، يقوم هو بالكلام فى الواقع . ولهذا الغرض يستخدم مختلف الحيل . ويحاول بالاستعانة بمختلف انواع الإشارات ، ان يصرف عنه انتباه المستمعين . وعندما ينحنى جانبا ويقرب يده من اذنيه ، كما لو كان يسترق السمع ، فانه يحاول اخفاء شفتيه عن الانظار قدر استطاعته . وعندما لا يستطيع اخفاء وجهه ، فانه يحاول القيام بحركات الشفاه الضرورية فقط . ومما يساعده على ذلك هو ان الشىء المطلوب فى معظم الاحيان يعتبر همسا خافتا غير واضح . وتخفى حركات الشفاه بصورة جيدة ، بحيث تجعل بعض الناس يعتقدون بان صوت الفنان يخرج من مكان ما فى جوفه — ومن هنا اشتق اسم : المتكلم من بطنه .

وهكذا نرى ان العجائب المزعومة للتكلم من البطن ، مبنية كليا على اساس اننا لا نستطيع ان نحدد اتجاه الصوت بدقة ، او بعد مصدره عنا . وفي الاحوال العادية ، نتوصل الى ذلك بصورة تقريبية فقط ، ولكننا اذا كنا في وضعية غير طبيعية لتقبل الصوت ، فسوف نرتكب خطأ كبيرا فيما يتعلق بتعيين مصدر الصوت . وعندما كنت شخصيا اراقب الشخص الذى يتكلم من بطنه ، لم يكن بمقدورى ان اشك في الخدعة ، بالرغم في اطلاعى التام على جلية الامر .

المحتويات

الى القراء الاعزاء

يسر دار « مير » للطباعة والنشر ان تكتبوا اليها عن رأيكم فى هذا الكتاب ، حول مضمونه وترجمته ، اسلوبه وشكل عرضه ، وتكون شاكرة لكم لو ابديتم لها ملاحظاتكم وانطباعاتكم . ويسر الدار كذلك ان تعلموها بما ترغبون الاطلاع عليه من الكتب العلمية والتكنيكية السوفييتية التى تصدرها ، والمختارة من افضل المراجع الجامعية والكتب العلمية المبسطة .

وبامكانكم الحصول على اسمائها من الكاتولوجات التى تنشرها الدار باللغات العربية والانجليزية والفرنسية والاسبانية .

يرجى ارسال الطلبات الى الوكلاء المعتمدين لدى مؤسسة « مجدونارودنايا كنيغا » السوفييتية ، موسكو ١١٣٠٩٥ .

عنوان دار « مير »
الاتحاد السوفييتي – موسكو
بيرفي ريجسكي بيريولوك رقم ٢

الفيزياء المسلية

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН • ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА II

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“ МОСКВА

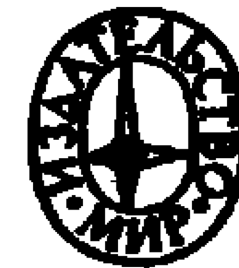
ياكوف بيريلمان

الفيزياء المسلية

الكتاب الثاني

طبعة سادسة

ترجمة الدكتور داود سليمان المنير



دار «مير» للطباعة والنشر موسكو

На арабском языке

طبعة اولى ١٩٧٠
طبعة ثانية ١٩٧٤
طبعة ثالثة ١٩٧٨
طبعة رابعة ١٩٨٢
طبعة خامسة ١٩٨٣
طبعة سادسة ١٩٨٧

كلمة دار النشر

ان كتاب «الفيزياء المسلية» الذى بين يدى القارئ الآن ، مترجم عن الطبعة الروسية السادسة عشرة .

ويعود نجاح هذا الكتاب الى عبقرية المؤلف النادرة ، الذى استطاع ملاحظة واستخلاص الحقائق والظواهر الاعتيادية المألوفة فى الحياة ، والتى لها فى نفس الوقت دلالة فيزيائية عميقة .

ان اسلوب الكتاب السلس المفهوم والطابع المسلّى لمحتوياته، هما سبب حصول الكتاب على شهرة واسعة النطاق بين جماهير القراء .

وعند وضع الكتاب، حدد المؤلف بدقة كبيرة، مهمّاته والغرض من وضعه . واثناء الحديث عن المفاهيم والقوانين الثابتة ، المعروفة منذ قديم الزمان ، يستعين المؤلف بالمبادئ التى يستند اليها علم الفيزياء الحديث ، محاولا بذلك تدريب القراء على «التفكير بطريقة تتلاءم مع علم الفيزياء» . وبناء على ذلك ، لا يصعب على القارئ ان يفهم سبب عدم احتواء الكتاب على مواضيع خاصة باحدث منجزات الالكترونيات اللاسلكية والفيزياء الذرية وغيرها من المسائل الحديثة .

وكان مؤلف هذا الكتاب الصادر منذ نصف قرن تقريبا، مستمرا فى ادخال التعديلات والاضافات على كل طبعة جديدة منه ، حتى الطبعة الثالثة عشرة ، الصادرة عام ١٩٣٦ .

لقد توفى ياكوف بيريلمان عام ١٩٤٢ اثناء الحصار الذى فرضته جيوش المانيا

النازية على مدينة لينينجراد . الا ان طبعات جديدة اخرى من هذا الكتاب صدرت حتى بعد وفاته .

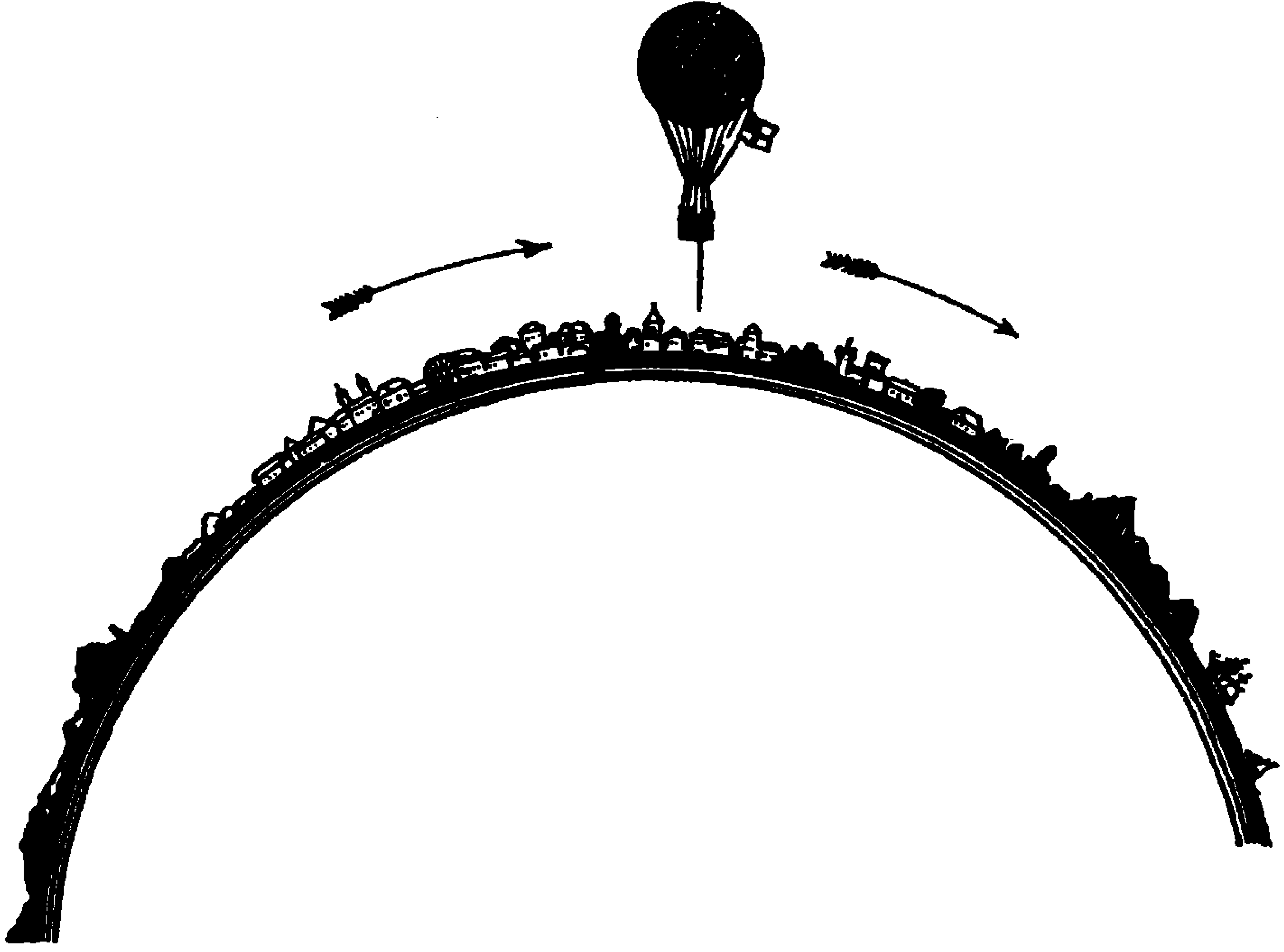
وعندما قامت هيئة التحرير باعادة طبع كتاب «الفيزياء المسلية»، لم تجعل هدفها التنقيح الجذري لنصوص هذا الكتاب ، الذى ثبت لدى القراء انه كتاب جيد . وعند تحرير النصوص التى جاء بها المؤلف ، لم تقم هيئة التحرير باكثر من تبديل الارقام القديمة باخرى حديثة ، ورفع المخططات التى لم تثبت جودتها ، وتجديد وتصحيح قسم من الاشكال والرسوم وادخال بعض الاضافات المستقلة على النصوص مع كتابة عدد من الملاحظات .

الفصل الاول | القوانين الاساسية للميكانيكا

ارخص طريقة للسياحة

يحدثنا الكاتب الفرنسي الظريف سيرانو دى برجراك — من كتاب القرن السابع عشر — في قصته الانتقادية « تاريخ حكومة على الشمس والقمر » الصادرة عام ١٦٥٢ ، عن حادثة عجيبة يتصور انها حدثت له . فذات مرة ، عندما كان يقوم باجراء تجارب فيزيائية ، وجد نفسه يرتفع عاليا في الجو مع كافة القناني المخبرية ، بطريقة لا يدركها العقل . ولما تمكن من الهبوط الى الارض مرة اخرى ، بعد مضى عدة ساعات ، اصيب بدهشة بالغة . اذ لم يجد نفسه على ارض وطنه فرنسا ، ولا حتى على ارض اوربية ، بل وجد نفسه على ارض امريكا الشمالية ، في كندا . وقد ظن الكاتب الفرنسي ان تحليقه المفاجئ عبر المحيط الاطلسي ، هو امر طبيعي . وقد اوضح ذلك بقوله ، انه عندما كان محلقا في الهواء بعيدا عن سطح الارض ، كانت الارض مستمرة في دورانها نحو الشرق كالسابق . ولهذا السبب بالذات ، وجد عند هبوطه ان الارض التي تحت قدميه ليست فرنسا ، بل امريكا الشمالية .

يظهر ان هذه الطريقة ، هي ارخص طرق السياحة وابسطها ! وكل ما نحتاجه هو التحليق فوق سطح الارض والبقاء في الجو ولو لدقائق قليلة ، وسوف نجد بعد هبوطنا ، اننا في مكان مختلف تماما عن المكان الاول ، وبعيد عنه باتجاه الغرب. وعوضا عن السفر المتعب عبر الاراضي والمحيطات ، يمكن التعلق بسكون فوق الارض ، والانتظار قليلا ، حتى تضع الارض المكان المطلوب تحت قدمي السائح .



شكل ١ : هل يمكننا مشاهدة دوران الكرة الارضية من منطاد – بالون – مرتفع في الجو؟ (بغض النظر عن مقياس الرسم) .

ولكن للاسف ، ليست هذه الطريقة المدهشة ، سوى بدعة من الخيال . فقبل كل شيء ، اننا عندما نرتفع في الهواء ، لا نكون في الواقع منفصلين عن الارض بعد ، لاننا نبقى مرتبطين بغلافها الغازى ، ومعلقين بجوها ، الذى يساهم بدوره فى حركة دوران الارض حول محورها . ان الهواء (وبالاحرى طبقاته السفلى الاكثر كثافة) يدور مع الارض ، ويجعل كافة الاشياء الواقعة ضمنه ، مثل الغيوم والطائرات والطيور والحشرات الطائرة .. وغيرها ، تدور هي الاخرى مع الارض . ولو كان الهواء لا يشارك الارض فى دورانها ، لكنا نشعر عند وقوفنا على الارض بر ياح عاتية ، تكون اقوى العواصف

الهوجاء بالنسبة اليها بمثابة نسمات خفيفة * . ان الامر لا يختلف ابدا ، اكنّا نقف فى مكاننا ، والهواء يتحرك بقربنا ، ام كان الهواء ساكنا وكنا نتحرك فيه ، لاننا فى كلتا الحالتين نشعر بنفس قوة الرياح . ان راكب الدراجة النارية ، المنطلقة بسرعة ١٠٠ كم/ساعة ، يشعر برياح قوية جدا ، حتى عندما يكون الجو هادئا تماما .

وبعد ذلك ، فاننا حتى لو تمكنا من الارتفاع الى اعلى طبقات الجو ، او اذا كانت الارض غير محاطة بالهواء بتاتا ، لما كان فى استطاعتنا والحالة هذه ، ان نستخدم تلك الطريقة السياحية الرخيصة ، التى تخيلها سيرانو دى برجراك . وفى الواقع ، عندما نبتعد عن سطح الارض الدوارة ، فاننا بدافع القصور الذاتى ، نستمر فى حركتنا بنفس السرعة السابقة ، اى بنفس السرعة التى تدور بها الارض الواقعة تحتنا . وحينما نهبط الى الارض ثانية ، نجد انفسنا فى نفس المكان الذى كنا قد انفصلنا عنه سابقا ، وهذه الحالة مشابهة تماما لتلك الحالة التى نقوم فيها بقفزة داخل عربة قطار متحرك ، حيث نقع على ارض العربة فى نفس المكان الذى قفزنا منه . ولكننا فى الواقع ستتحرك الى الامام بدافع القصور الذاتى (على المماس) ، اما الارض الواقعة تحتنا ، فستتحرك على القوس . ولكن عندما تكون الفترات الزمنية قصيرة ، لا يصبح لهذا الامر اى تأثير يذكر على جوهر المسألة .

«توقفى ايتها الارض !»

يحدثنا الكاتب الانكليزى الشهير ويلز ، فى احدى قصصه الخيالية عن كاتب حسابات كان يصنع المعجزات . لقد جعل القدر من هذا الشاب البليد جدا ، صاحب موهبة مدهشة ، فما كان يتمنى شيئا ، الا ويراه يتحقق فى الحال . ولكن ظهر ان هذه

---

* تبلغ سرعة العاصفة الهوجاء ٤٠م/ثانية (١٤٤ كم/ساعة) . اما الارض ، وهى عند خط العرض الذى تقع عليه مدينة لينينجراد، فكانت ستنطلق بنا خلال الهواء بسرعة قدرها ٢٣٠ م/ثانية (٨٢٨ كم/ساعة) ، وفى منطقة خط الاستواء ، مثلا فى سنغافورة ، بسرعة قدرها ٤٦٥ م/ثانية (١٦٧٤ كم/ساعة) .

الموهبة المغرية ، لم تجلب لصاحبها وللناس شيئا ، سوى المضايقات . وسوف نجد فى نهاية هذه القصة ، عظة بالغة للناس .

بعد حفلة شرب استمرت حتى وقت متأخر من الليل ، خشى كاتب الحسابات من العودة الى بيته مع مطلع الفجر ، ففكر فى استخدام موهبته لاطالة الليل . كيف يمكن القيام بهذا العمل ؟ يجب ان يأمر النجوم بالتوقف عن حركتها . ولكن كاتب الحسابات لم يقرر القيام بهذا العمل الباهر فى الحال ، وعندما نصحه صديقه بايقاف القمر ، راح ينظر الى القمر بامعان ، ثم قال لصديقه بتأمل :

— يبدو لى ان هذا الامر ليس فى متناول يدى ... ما هو رأيك ؟

وهنا الح عليه صديقه ميديك قائلا :

— ولكن لماذا لا تحاول ذلك؟ ان القمر لن يتوقف بطبيعة الحال ، لانك ستوقف دوران الارض فقط ، وليس فى دلك ما يسئ الى اى شخص كما اتوقع !

فتمتم كاتب الحسابات ، الذى كان اسمه فوتيرينجى ، قائلا :

— حسنا ، ساحاول ...

ثم اتخذ وقفة الآمر ، ومد يديه فوق العالم وقال بلهجة المنتصر :

— توقفى ايتها الارض ! كفى عن الدوران !

ولم ينته من نطق ذلك الكلام، حتى حلّق الصديقان فى الفضاء بسرعة بلغت عدة عشرات من الاميال فى الدقيقة الواحدة . وعلى الرغم من ذلك ، استمر فى التفكير . وفى اقل من ثانية ، استطاع ان يفكر ويقول فى نفسه الشئ الذى يتمناه :

— ليحدث مهما يحدث ، اما انا فاريد ان ابقى حيا دون ان اصاب باذى !

ويجب الاعتراف بان هذه الامنية جاءت فى وقتها بالذات. ومرّت على ذلك عدة ثوان اخرى ، سقط بعدها كاتب الحسابات على تربة حديثة العزق ، وقد تراكمت حوله انقاض المبانى ومختلف القطع المعدنية دون ان تصيبه بأذى ، وارتفع فى الهواء جسم بقرة مسكينة ، بعد ان تحطمت عند اصطدامها بالارض . وهبّت الرياح بقوة رهيبة ، حتى انه لم يتمكن من رفع رأسه ليرى ما يدور حواليه ..

وهتف بصوت متقطع :

ـ اننى لا ادرك جلية الامر ، ماذا حدث ؟ أهى عاصفة ام ماذا ؟ لابد واننى قد فعلت شيئا ما بصورة غير صحيحة .

ثم نظر حوله بقدر ما سمحت له الرياح وحاشية سترته المرفرفة ، واستمر قائلا :

ـ يبدو ان كل شئ فى السماء قد بقى على حاله ولم يتغير. وها هو ذا القمر فى مكانه . ولكن ماذا حدث لبقية الاشياء الاخرى ... اين المدينة ؟ اين المنازل والشوارع ؟ وكيف هبت الرياح ؟ انا لم اطلب من الرياح ان تهب .

وحاول فوتيرينجي ان يقف على قدميه، ولكن ظهر ان هذا الامر مستحيل، ولذلك اخذ يزحف قليلا على يديه ورجليه ، متشبثا باحجار ونتوءات الارض . وبالمناسبة ، لم يكن هناك مكان يذهب اليه . لان كل ما استطاع ان يراه من تحت حاشية سترته ، التى القتها الرياح على رأسه ، كان عبارة عن خراب شامل .

ثم فكر وقال فى نفسه :

ـ لقد حدث للكون شئ خطير ، ولكن ما هو بالذات، لا احد يدرى » .

ولقد حدث بالفعل شئ خطير .لم تبق هناك منازل ولا اشجار ولا اية مخلوقات حية اخرى . وكل ما بقى هو عبارة عن انقاض وشظايا متناثرة هنا وهناك ، لا تكاد العين تراها الا بصعوبة ، وسط عاصفة شاملة من الغبار .

ان المسئول عن كل هذا العمل لم يفهم حقيقة الامر بالطبع ، بينما كان السبب قد اتضح ببساطة . فعندما اوقف فوتيرينجى الارض فجأة ، لم يفكر بالقصور الذاتى ، الذى يعمل عند التوقف الفجائى للحركة الدورانية ، على القاء كافة الاشياء الموجودة على سطح الارض ، بعيدا عن ذلك السطح . ولهذا السبب بالذات ، انفصلت المنازل والناس والاشجار والحيوانات ، وبصورة عامة كل الاشياء الوثيقة الاتصال بكتلة الارض الاساسية ، وطارت بسرعة الرصاصة على خط مماس لسطح الارض . وبعد ذلك سقطت تلك الاشياء جميعها على سطح الارض وتحطمت .

وفهم فوتيرينجي ان المعجزة التى قام بها ، لم تكن ناجحة بصورة خاصة . ولذلك اشمأزت نفسه كثيرا من كافة المعجزات ، وعاهد نفسه على عدم القيام باية معجزة بعد ذلك . ولكن يجب قبل ذلك اعادة الحالة الى ما كانت عليه قبل وقوع الكارثة التى احدثها . لقد ظهر ان هذه الكارثة كانت كبيرة جدا ، حيث اشتدت العواصف وحجبت سحب الغبار وجه القمر ، وسمع من بعيد هدير المياه المقتربة ، حتى ان فوتيرينجى رأى على ضوء البرق ، جدارا كاملا من الماء يقترب بسرعة رهيبة من المحل الذى كان منطرحا عليه .

وهنا اصبح ثابت العزم ، وصرخ مخاطبا الماء :

– قف ! لا تتقدم اية خطوة الى الامام ! ثم وجه نفس الامر الى كل من الرعد والبرق والرياح .

وبعد ذلك اصبح كل شئ هادئا تماما .

وجلس القرفصاء ، واستغرق فى تفكيره :

– كيف يمكننى ان احول دون تكرر حدوث مثل هذا الهرج والمرج . وبعد ان فكر قال فى نفسه – « اولا ، عندما تنفّذ كل اوامرى الآن ، سوف اطلب ان افقد قابليتى لصنع المعجزات ، واكون مثل بقية الناس العاديين . ولا حاجة لى بالمعجزات ، انها لعبة خطرة للغاية . ثانيا ، لتعد كل الاشياء الى سابق عهدها ، لارى نفس المدينة ونفس الناس والمنازل ذاتها ، وارى نفسى شخصيا كما كنت عليه فى ذلك الحين » .

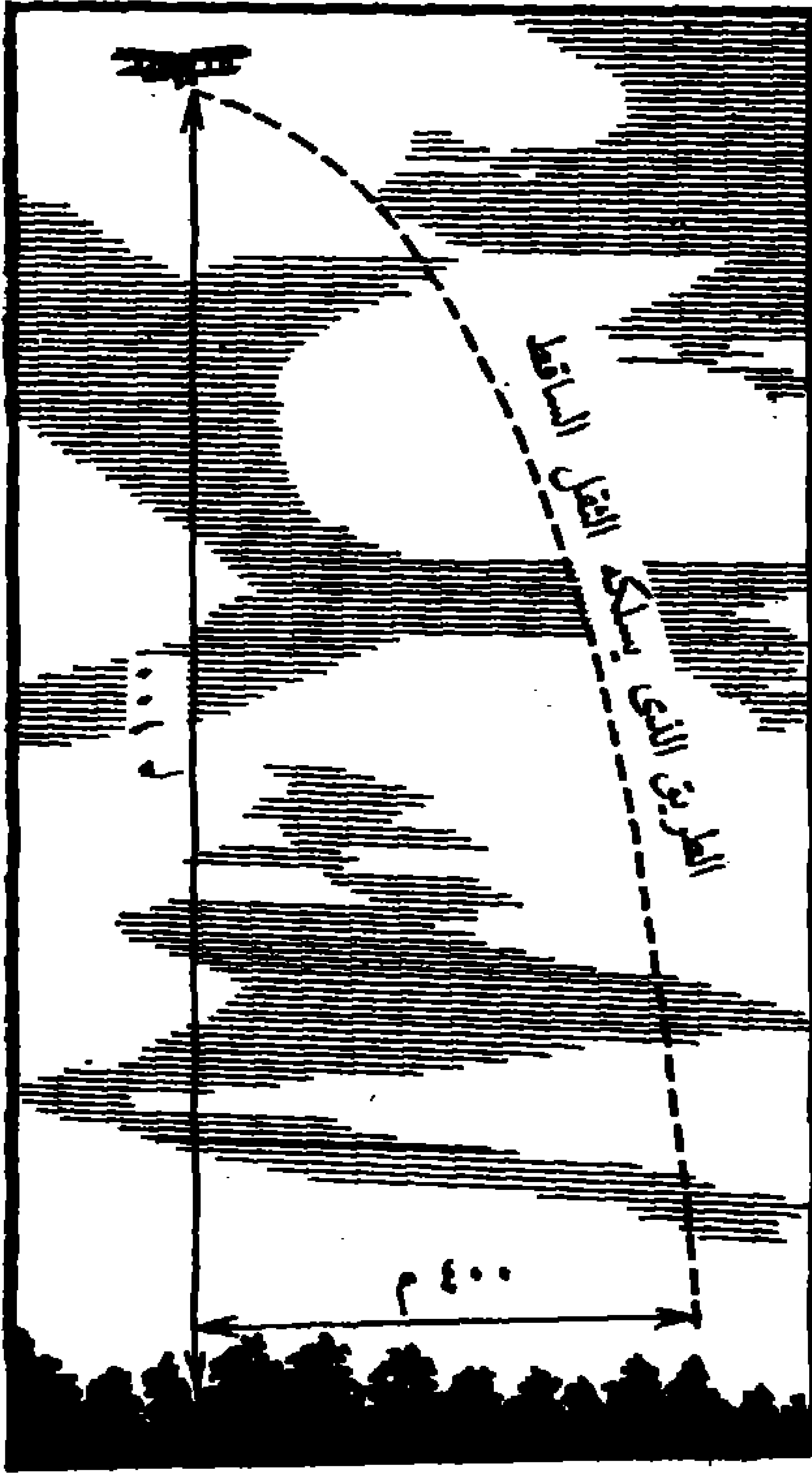
رسالة من الطائرة

تصور انك راكب فى طائرة تحلق فوق الارض بسرعة ، وانك تعرف المواقع التى تحلق فوقها الطائرة . وبعد لحظات ستكون الطائرة فوق المنزل الذى يسكنه صديقك . وهناك تخطر لك فكرة عابرة – « لماذا لا ابعث اليه بتحية من هنا ! » . ثم تتناول دفتر مذكراتك ، وتكتب عدة كلمات على ورقة منه ، ثم تربط الورقة باحد الاجسام الثقيلة ، الذى سنسميه

فيما بعد بـ « الثقل » ، وتحين اللحظة التي يصبح فيها المنزل واقعا تحتك بالضبط ، لترمي الثقل من يدك .

وستكون بعد ذلك على ثقة تامة من سقوط الثقل في حديقة المنزل . ولكن الثقل لا يسقط في ذلك المكان مطلقا ، بالرغم من وقوع المنزل والحديقة تحتك تماما !

واذا تتبعت سقوط الثقل من الطائرة ، لرأيت ظاهرة غريبة : ان الثقل سوف يسقط الى الاسفل ، ولكنه في نفس الوقت يحافظ على وجوده تحت الطائرة ، كما لو كان ينزلق على خيط خفي مربوط بالطائرة . وعندما يصل الثقل الى الارض ، سترى ان مكان سقوطه يقع الى الامام من منزل صديقك بمسافة بعيدة .



شكل ٢ : ان الثقل المرمي من الطائرة، لا يسقط الى الارض بصورة عمودية ، ولكنه يسقط بخط منحن .

وهنا يظهر نفس قانون القصور الذاتي ، الذي يحول دون الاخذ بالنصيحة المغرية للسياحة على طريقة برجراك . حينما كان الثقل موجودا في داخل الطائرة ، كان يتحرك معها تماما . ولكنه عندما انفصل عنها واخذ يسقط الى الاسفل ، لم يفقد سرعته الابتدائية ، انما يتابع الحركة في الهواء اثناء سقوطه بنفس الاتجاه السابق . ثم تجمع كلتا الحركتين العمودية والافقية ، ونتيجة لذلك ، يسقط الثقل الى الاسفل بخط منحن ، مع بقائه طوال الوقت تحت الطائرة (طبعا اذا لم تغيّر الطائرة اتجاهها او سرعة طيرانها) . وفي الواقع ، يطير الثقل مثلما يطير الجسم المقذوف افقيا، كالرصاصة المنطلقة من بندقية مصوبة في اتجاه افقي : يكون مسار الجسم على هيئة قوس يبدأ من نقطة الانطلاق وينتهي اخيرا في نقطة على الارض.

ونشير الى ان كل ما ذكرناه هنا ، كان من الممكن اعتباره صحيحا تماما ، لولا وجود مقاومة الهواء . ان هذه المقاومة فى الواقع ، تكبح كلتا الحركتين العمودية والافقية للثقل. ونتيجة لذلك، لا يستمر الثقل فى البقاء تحت الطائرة تماما، بل يتأخر عنها قليلا.

وقد يكون الانحراف عن الخط العمودى، كبيرا جدا ، اذا كانت الطائرة تطير بسرعة كبيرة ، على ارتفاع شاهق . واذا كان الجو هادئا ، فان الثقل الساقط من طائرة تحلق على ارتفاع ١٠٠٠ م بسرعة قدرها ١٠٠ كم/ساعة ، يقع على الارض فى نقطة تبعد الى الامام بمسافة ٤٠٠ م عن نقطة الارض الواقعة عموديا تحت الطائرة (شكل ٢) .

ان الحساب ليس صعبا (اذا اهملنا مقاومة الهواء) ، اذ ان المعادلة الموضوعة لاستخراج المسافة المقطوعة ، عندما تكون حركة الجسم منتظمة التسارع ، هى $م = \frac{ج ن^{٢}}{٢}$

حيث

م ــ المسافة المقطوعة بالامتار ،

ج ــ تسارع الجاذبية ،

ن ــ الزمن بالثوانى

ومن المعادلة السابقة ينتج ان : $ن = \sqrt{\frac{٢م}{ج}}$

وهذا يعنى ، ان الزمن اللازم لسقوط الحجر من ارتفاع ١٠٠٠ م ، يساوى .

$\sqrt{\frac{٢ \times ١٠٠٠}{٩٫٨}} = ١٤$ ثانية .

وخلال هذه الفترة الزمنية ، يقطع الحجر مسافة افقية تساوى :

$\frac{١٠٠٠٠٠}{٣٦٠٠} \times ١٤ = ٣٩٠$ م .

قطار لا يتوقف فى المحطات

عندما تكون واقفا على رصيف المحطة الثابت، ويمر بالقرب من الرصيف قطار سريع ، يصبح القفز الى احدى عرباته ، امرا صعبا بطبيعة الحال . ولكن اذا فرضنا

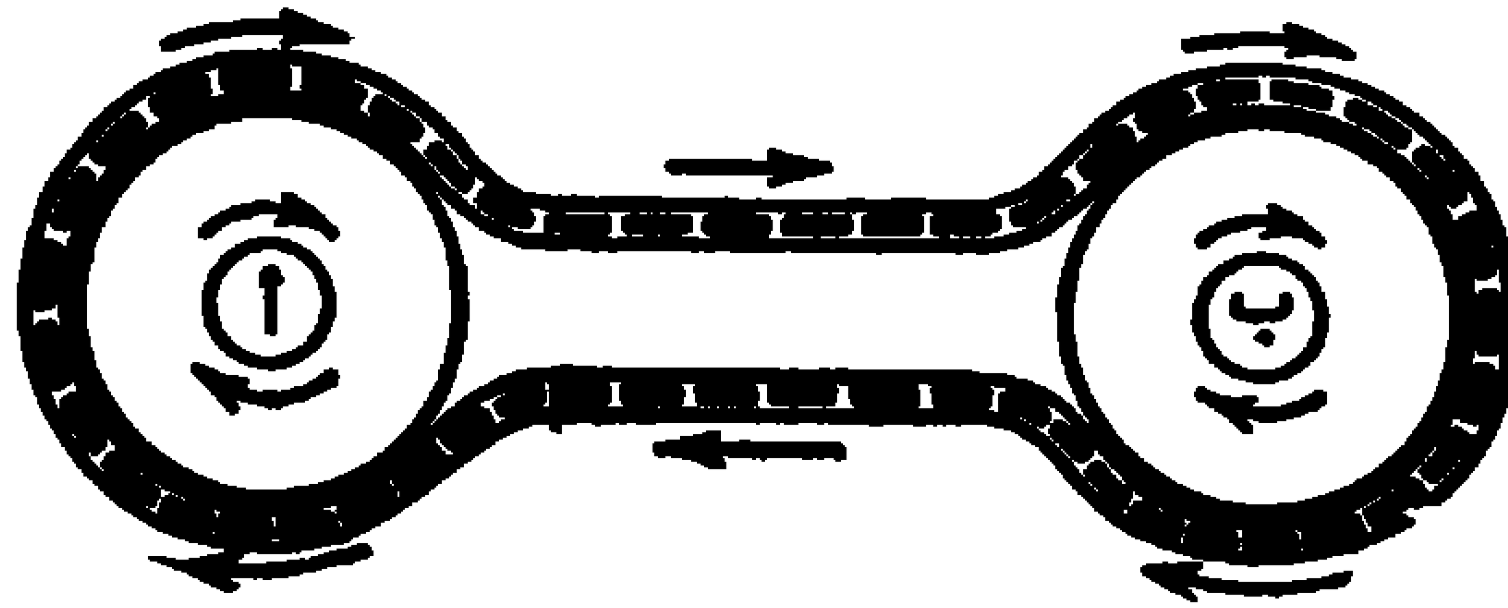
بان الرصيف الموجود تحت قدميك يكون فى حالة حركة ايضا ، بنفس سرعة واتجاه القطار ، فهل سيصعب عليك الدخول الى احدى عربات القطار فى هذه الحالة ؟

لا ابدا . انك ستدخل العربة بهدوء ، كما لوكانت واقفة تماما . وبما انك تتحرك بنفس سرعة القطار وفى نفس اتجاهه ، فان القطار فى هذه الحالة ، سيصبح بالنسبة لك ساكنا تماما . اما عجلاته فانها تدور فى الواقع ، ولكنها تبدو كما لو كانت تراوح فى مكانها . وبصورة ادق ، فان كافة الاشياء ، التى نعتبرها عادة ساكنة — مثل القطار الواقف فى المحطة — تتحرك معنا حول محور الارض وحول الشمس، ولكننا فى الواقع ، لا نأخذ هذه الحركة فى الاعتبار ، لانها لا تؤثر علينا بتاتا .

اذن ، يمكننا تماما ، تحقيق فكرة دخول الركاب الى القطار المتحرك وخروجهم منه دون ان يتوقف فى المحطة .

وكثيرا ما تعد مثل هذه الترتيبات فى المعارض ، لكى يستطيع الزوار بمساعدتها مشاهدة المعروضات المنتشرة على رقعة واسعة من الارض ، باسرع ما يمكن . والمحطات النهائية للارض التى يقام عليها المعرض ، تشبه الشريط المتواصل ، حيث ترتبط مع بعضها بسكة حديدية ، ويكون باستطاعة الركاب فى اى وقت وفى اى مكان ، الدخول الى العربات والخروج منها اثناء حركة القطار بسرعة كاملة .

وهذا الترتيب الطريف مبين فى الاشكال الملحقة بهذا البحث . فقد اشير فى الشكل ٣ ، الى المحطتين النهائيتين بالحرفين أ و ب. وتوجد فى كل محطة ، قطعة ارض دائرية



شكل ٣ : الرسم التخطيطى لتركيب السكة الحديدية الخاصة بالحركة المستمرة — المتواصلة — بين المحطتين أ و ب . وتركيب المحطة مبين فى الشكل التالى .

ثابتة ، محاطة بقرص حلقي كبير دوّار . ويمر حول القرصين الدوّارين ، حبل فولاذي تثبت فيه العربات . والآن لنتتبع ما يحدث عندما يدور القرص . تتحرك العربات حول القرصين ، بنفس السرعة التي تتحرك بها الحافات الخارجية للقرصين . وهكذا يستطيع الركاب بدون اى خطر ، الانتقال من القرصين الى العربات ، او بالعكس ، النزول من العربات (لم يذكر المؤلف هنا ، انه عند دوران رصيف المحطة ــ القرص ــ بسرعة كبيرة ، تقوم القوة الطاردة المركزية بطرح الركاب جانبا ــ ملاحظة المحرر) .

وعند خروج الراكب من العربة ، فانه يسير على القرص الدوّار ويتجه نحو مركز الدائرة ، حتى يصل الى الارض الثابتة . اما الانتقال من الحافة الداخلية للقرص الدوار الى الارض الثابتة ، فيصبح امرا سهلا ، ذلك لانه عندما يكون نصف قطر الدائرة صغيرا ، تصبح السرعة المحيطية قليلة جدا * . وعند وصول الراكب الى رقعة الارض الداخلية الثابتة ، لا يبقى امامه سوى عبور القنطرة للوصول الى منطقة خارجة عن السكة الحديدية (شكل ٤) .

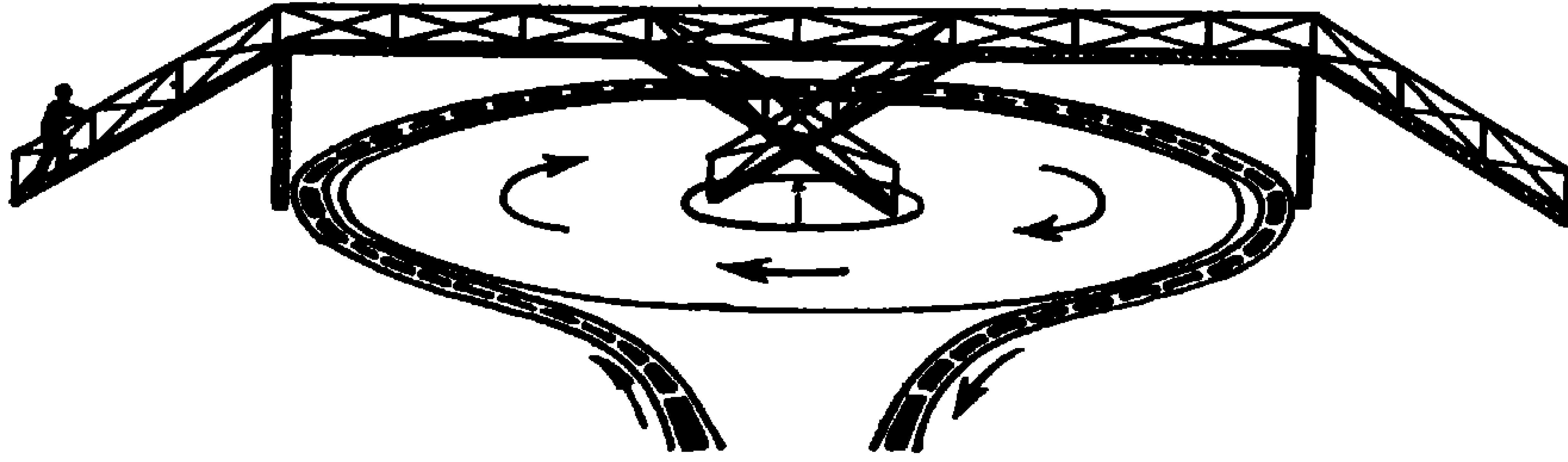
ان عدم التوقف في محطات عديدة ، يوفر لنا كثيرا من الوقت والطاقة المصروفين . فمثلا ، في الترامات التي تعمل داخل المدن ، يصرف اكثر الوقت ، وحوالي ثلثي الطاقة الكاملة ، على التسارع التدريجي للحركة عند ترك المحطة ، وعلى ابطاء الحركة قبل الوقوف في المحطة التالية * * .

وبالنسبة لمحطات السكك الحديدية ، كان من المستطاع الاستغناء حتى عن الارصفة المتحركة الخاصة ، لصعود وانزال الركاب اثناء حركة القطار بسرعة كاملة . لنفرض ان لدينا قطارا سريعا يمر بالقرب من محطة عادية ثابتة ، ونريد ان يأخذ الركاب الجدد

---

* من السهل ان نفهم بأن نقاط الحافة الداخلية ، تتحرك ابطأ بكثير من حركة نقاط الحافة الخارجية لانها تقطع في نفس الوقت ، محيطا اقل بكثير من المحيط الذي تقطعه نقاط الحافة الخارجية .

** يمكن تلافي فقد الطاقة المصروفة لاجل الفرملة ، اذا قمنا اثناء الفرملة بتحويل المحركات الكهربائية العربة الى نظام عمل المولدات ، بحيث نجعلها تعيد التيار الى الشبكة الكهربائية (لقد امكن بفضل هذه الطريقة خفض الطاقة المصروفة على حركة الترامات في منطقة شارلوتنبرج ــ احدى ضواحي برلين ــ بمقدار ٣٠ ٪ . وقد استخدمت هذه الطريقة على نطاق واسع ، على الخط الحديدي المكهرب فلاديفستوك ــ موسكو) .



شكل ٤ : محطة السكة الحديدية الخاصة بالحركة المستمرة — المتواصلة .

من تلك المحطة ، دون ان يتوقف عندها . وليجلس هؤلاء الركاب مؤقتا ، فى قطار آخر يقف على خط احتياطى ، يوازى خط قطارنا السريع . والآن نجعل القطار الواقف يتحرك الى الامام ، حتى تصل سرعته الى نفس سرعة القطار السريع . وباقتراب القطاران من بعضهما ، يصبح كل منهما ساكنا بالنسبة للآخر . ويكفى فى هذه الحالة ان نمد معابر مؤقتة بين عربات القطارين ، ليستطيع الركاب بعد ذلك الانتقال من القطار الاضافى الى القطار السريع . وكما يتضح من ذلك ، فاننا نستطيع الاستغناء عن التوقف فى المحطات.

الرصيف المتحرك

هناك ترتيبات اخرى مبنية على مبدأ نسبية الحركة ، لم يخرج نطاق استخدامها حتى الآن عن ساحات المعارض ، ويطلق عليها اسم « الارصفة المتحركة » . وقد اعدت لاول مرة فى المعرض المقام فى مدينة شيكاجو عام ١٨٩٣ ، ثم فى معرض باريس الدولى عام ١٩٠٠ .

ويبين الشكل ٥ ، مخططا للارصفة المتحركة. نرى فى هذا الشكل ارصفة على هيئة اشرطة مقفلة ، تتحرك بواسطة آلية خاصة ، وهى مرتبة بحيث يكون كل شريط محاطا بشريط آخر ، وتكون سرعة حركة الاشرطة مختلفة . ان الشريط الخارجى يتحرك بسرعة بطيئة لا تزيد عن سرعة سير الانسان العادى ، وهى ٥ كم/ساعة . لذا يسهل على السائر نقل الخطى الى هذا الشريط . والشريط المجاور له من الداخل ، يتحرك

بسرعة قدرها ١٠ كم/ساعة . ان القفز الى هذا الشريط من ارض ثابتة ، ربما كان امرا محذورا . اما الانتقال اليه من الشريط الخارجي ، فهو امر فى منتهى السهولة . وفى الحقيقة ، فان الشريط الثانى الذى يتحرك بسرعة ١٠ كم/ساعة ، لا تزيد سرعته على ٥ كم/ساعة بالنسبة للشريط الخارجى الاول ، الذى يتحرك بسرعة قدرها ٥ كم/ساعة . وهذا يعنى ان الانتقال من الشريط الاول الى الشريط الثانى يصبح سهلا ، مثل الانتقال من الارض الى الشريط الاول . ويتحرك الشريط الثالث بسرعة قدرها ١٥ كم/ساعة ، والانتقال اليه من الشريط الثانى سهل جدا . ومن السهل ايضا الانتقال من الشريط الثالث الى الشريط الرابع ، الذى يتحرك بسرعة قدرها ٢٠ كم/ساعة ، ثم الانتقال اخيرا من الشريط الرابع الى الشريط الخامس ، الذى يتحرك بسرعة قدرها ٢٥ كم/ساعة . والشريط الخامس يوصل الراكب الى المكان الذى يقصده . ومن هذا المكان ينتقل الى الخارج من شريط الى آخر بالتدريج ، حتى يصل الى الارض الثابتة .

قانون صعب

بين قوانين الميكانيكا الثلاثة ليس ثمة ما يدعو الى الحيرة ، مثل «قانون نيوتن الثالث» المشهور — قانون الفعل ورد الفعل . ان الجميع يعرف هذا القانون ، ويطّبقه بصورة صحيحة فى بعض الحالات ، الا ان الذى يفهمه بصورة تامة هو عدد قليل من الناس فقط . ربما كان القارئ سعيد الحظ يفهم ذلك القانون من اول مرة ، ولكننى اعترف باننى لم افهمه تماما ، الا بعد مرور عشر سنوات على معرفتى به لاول مرة .

واثناء حديثى مع مختلف الناس ، اقتنعت مرارا بان معظمهم على استعداد للاعتراف بصحة القانون ، ولكن مع بعض التحفظات الجوهرية فقط . انهم يوافقون على صحته بالنسبة للاجسام الساكنة ، ولكنهم لا يفهمون كيف يمكن تطبيقه بالنسبة لتبادل الفعل فى الاجسام المتحركة ... وينّص القانون على ان الفعل يساوى رد الفعل فى المقدار ، ويعاكسه فى الاتجاه . وهذا يعنى انه اذا كان الحصان يجر العربة الى الامام ، فان

العربة ايضا تجره الى الوراء بنفس القوة . ولكن فى هذه الحالة ، يجب ان تبقى العربة فى مكانها : فلماذا اذن تتحرك ؟ ولماذا لا تتعادل هاتان القوتان ، اذا كانتا متساويتين ؟

ان هذه الاسئلة تدل عادة على الحيرة، التى تتملك الناس عند تعرفهم بهذا القانون. هل يعنى هذا ان القانون غير صحيح ؟ لا ، ان القانون صحيح بلا شك ، ولكننا لا نفهمه بصورة صحيحة ، وهذا كل ما فى الامر . ان القوتين لا تتعادلان مع بعضهما ، لانهما تؤثران على جسمين مختلفين : الاولى تؤثر على العربة ، والثانية تؤثر على الحصان . اما ان القوتين متساويتان ، فهذا صحيح . ولكن ، هل ان القوى المتساوية تولد افعالا متساوية دائما ؟ وهل ان القوى المتساوية ، تكسب الاجسام المختلفة تسارعا واحدا ؟ وهل ان تأثير القوة على الجسم ، لا يتوقف على طبيعة ذلك الجسم ، وعلى مقدار « المقاومة » التى يبديها ضد تلك القوة ؟

اذا فكرنا مليا فى هذه الاسئلة ، فاننا سنعرف بسهولة لماذا يحرك الحصان العربة ، مع انها تسحبه الى الوراء بنفس القوة . ان القوة المؤثرة على العربة ، تساوى القوة المؤثرة على الحصان دائما ، ولكن بما ان العربة تتحرك بحرية على العجلات ، والحصان يثبت قوائمه فى الارض ، اذن يصبح من الواضح السبب فى جرى العربة وراء الحصان . اما اذا لم تبد العربة رد فعل بالنسبة لقوة الحصان الدافعة ، يمكن عندئذ الاستغناء عن الحصان ، اذ ان اضعف قوة تستطيع تحريك العربة فى هذه الحالة . ولهذا ، يكون الحصان ضروريا للتغلب على رد الفعل الذى تبديه العربة .

ولو لم يكن نص القانون المذكور مختصرا : « الفعل يساوى رد الفعل » ، بل كان مثلا على الشكل التالى : « قوة رد الفعل تساوى قوة الفعل » ، لكان ذلك اسهل فهما واقل ارباكا . ان الذى يتساوى هنا هو مقدار القوتين فقط ، اما فعل القوتين (اذا كان المقصود بفعل القوة كما يفهم عادة ، هو انتقال الجسم) فيختلف بطبيعة الحال ، لان القوتين تؤثران على جسمين مختلفين . وفى فبراير (شباط) عام ١٩٣٤ تحطمت الباخرة السوفييتية « شليوسكين » فى المنطقة القطبية ، حيث ضغطت كتل الجليد بقوة على هيكل الباخرة ، الذى ضغط بدوره على كتل الجليد بنفس القوة . اما سبب تحطم الباخرة ، فهو قابلية

كتل الجليد الجبارة لتحمل ذلك الضغط ، دون ان تتحطم ، فى الوقت الذى تحطم فيه هيكل الباخرة المصنوع من الفولاذ ، لانه اجوف ولم يستطع تحمل ذلك الضغط (ستتحدث بالتفصيل عن الاسباب الفيزيائية التى ادت الى تحطم الباخرة تشليوسكين ، وذلك فى فقرة مستقلة على الصفحة ٥٠) .

وبالطبع ، فان سقوط الاجسام ايضا، يخضع لقانون رد الفعل ، بالرغم من عدم ظهور هاتين القوتين فى الحال . ان التفاحة تسقط على الارض ، لان الارض تجذبها اليها ، ولكن التفاحة ايضا تجذب الارض اليها ، بنفس القوة تماما . وبعبارة ادق ، فان كلا من التفاحة والارض ، تسقطان على بعضهما ، ولكن سرعة سقوط التفاحة على الارض تختلف عن سرعة سقوط الارض على التفاحة. ان القوى المتساوية للجذب المتبادل ، تعطى التفاحة تسارعا قدره ١٠ م/ثا٢ تقريبا ، بينما تعطى الارض تسارعا يقل عن تسارع التفاحة بقدر ما تزيد كتلة الارض على كتلة التفاحة . وبطبيعة الحال ، فان كتلة الارض اكبر من كتلة التفاحة بعدد غير متناه من المرات . ولهذا ، فان الارض لا تنتقل فى هذه الحالة الا بقدر ضئيل للغاية ، بحيث يمكن اعتباره مساويا للصفر . ولهذا السبب نقول بان التفاحة تسقط على الارض ، بدلا من قولنا بان « كلا من التفاحة والارض تسقطان على بعضيهما» .

ما سبب مصرع سفيتوجور العملاق ؟

فى الاساطير الروسية الشعبية ، ثمة اسطورة تتحدث عن عملاق اسمه سفيتوجور ، اراد ان يرفع الكرة الارضية ! وهناك اسطورة اخرى تقول بان ارخميدس قد حاول القيام بنفس العمل الباهر ، وبحث عن نقطة ارتكاز لعتلته الجبارة . ولكن سفيتوجور كان قويا ولم يكن بحاجة الى عتلة ، ولكنه بحث عن موضع لمسك الارض بيديه الجبارتين . ولما عثر سفيتوجور على ذلك الموضع ، ترجل عن ظهر جواده الامين ، وثبت يديه فى ذلك الموضع وحاول ان يرفع الارض . ولكنه ما ان رفعها الى ركبتيه فقط ، حتى

تدفق الدم من عينيه كالدموع ، وسال على وجهه بغزارة ، ووجد نفسه يغور فى جوف الارض وهو واقف فى نفس الموضع بالذات ، وهنا كانت نهايته المؤلمة .

ولو كان سفيتوجور يعرف قانون الفعل ورد الفعل ، لامكنه ان يتصور بان قوته الجبارة المؤثرة على الارض ، تولد لدى الاخيرة رد فعل ، له نفس القوة الجبارة ، التى تستطيع ان تسحبه بالذات الى داخل الارض .

وعلى كل حال ، يتضح من الاسطورة بان عامة الشعب قد لاحظت منذ قديم الزمان ، رد الفعل الذى تبديه الارض ، عندما ترتكز عليها الاجسام . وقد طبق الناس قانون رد الفعل بدون وعى ، قبل ان ينشره نيوتن لاول مرة فى كتابه الخالد « الاسس الرياضية للفلسفة الطبيعية » ــ اى الفيزياء ــ بعدة آلاف من السنين .

هل يمكن التحرك بدون مرتكز ؟

عندما نسير ، فاننا ندفع الارض باقدامنا . ولا يمكننا السير على الارض الصقيلة جدا او على الجليد ، لانه لا يمكننا دفعهما باقدامنا . وعندما يتحرك القطار ، فانه يدفع السكة الحديدية بواسطة العجلات . اما اذا دهنا السكة الحديدية بالشحم ، فان القطار لن يتحرك من مكانه . حتى انه فى بعض الاحيان (عندما يتكون غطاء جليدى على السكة) ، نذرّ الرمل على اقسام السكة الواقعة امام العجلات المسيّرة للقطار ، وذلك لكى نجعله يتحرك من مكانه . وعندما كانت السكك والعجلات تصنع على هيئة مسننة (فى بداية ظهور السكك الحديدية) ، كان الغرض من ذلك ، جعل العجلات تندفع عن السكة الحديدية . والباخرة ايضا ، تدفع الماء بواسطة ارياش عجلة التجديف او بواسطة الرفّاص . والطائرة تدفع الهواء بمراوحها ايضا . وقصارى القول ، مهما كان نوع الوسط الذى يتحرك فيه الجسم ، فان الاخير يرتكز على ذلك الوسط عند حركته فيه . ولكن هل يمكن ان يبدأ الجسم بالحركة ، دون ان يكون له مرتكز فى الخارج ؟

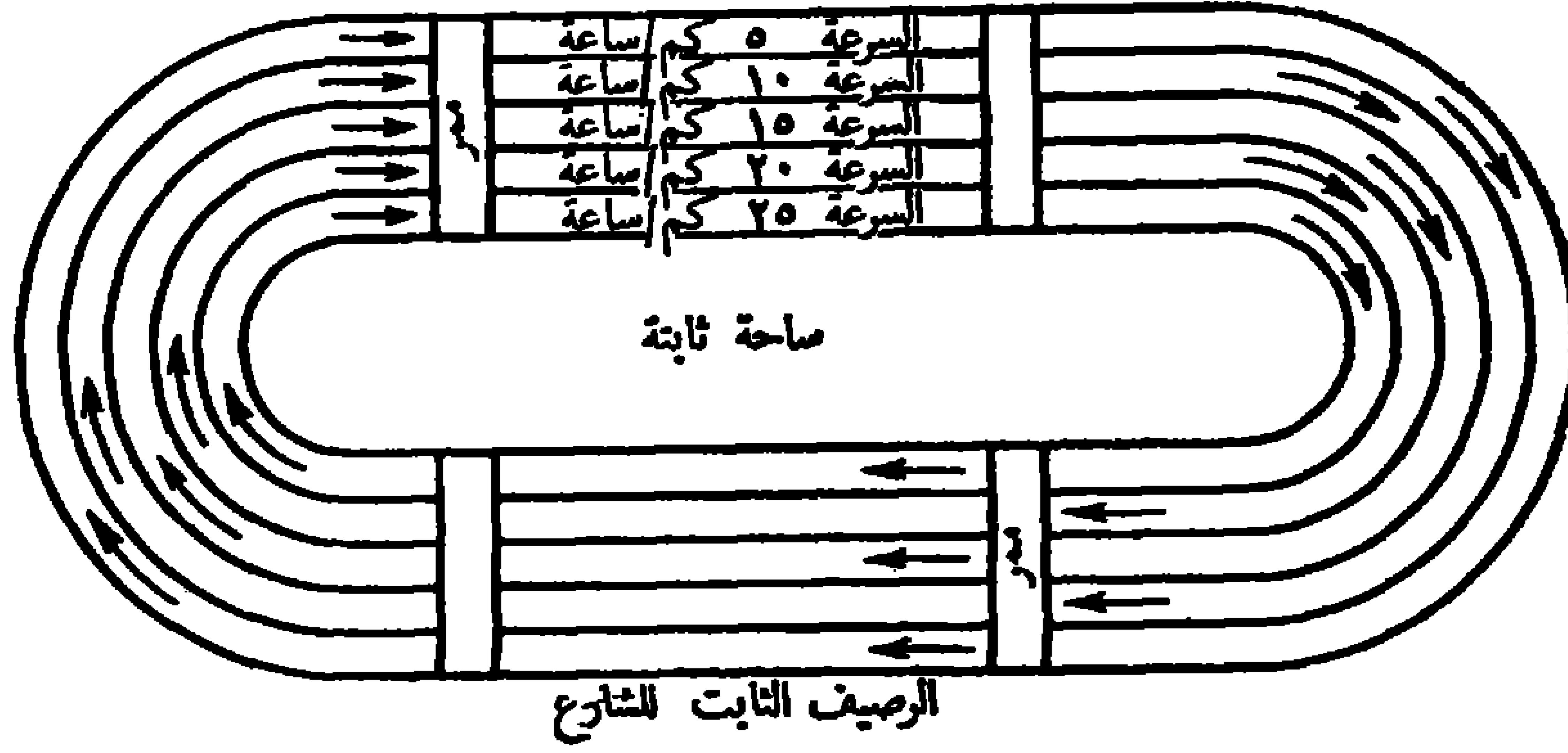
ان القيام بمثل هذه الحركة ، يشبه قيام الانسان برفع نفسه من شعره ، وهو الامر الذى لم يستطع القيام به الا البارون مونهاوزن . ومع ذلك ، فاننا كثيرا ما نشهد حدوث

مثل هذه الحركة بالذات ، وهى الحركة التى نعتبرها مستحيلة. وفى الحقيقة ، لا يستطيع الجسم ان يبدأ بالحركة كليا ، بواسطة القوى الداخلية وحدها ، ولكنه يستطيع تحريك احد اقسامه فى اتجاه معيّن ، وتحريك القسم الباقى فى الاتجاه المعاكس للاتجاه الاول . وربما يكون القارئ قد شاهد صاروخا منطلقا فى الجو مرات عديدة . ولكن ، هل سأل نفسه لماذا ينطلق الصاروخ ؟ ان انطلاق الصاروخ ، يقدم لنا مثالا واضحا على ذلك النوع من الحركة الذى نتطرق اليه الآن .

لماذا ينطلق الصاروخ ؟

كثيرا ما نسمع تفسيرا سيئا تماما ، لعملية انطلاق الصاروخ ، حتى من اولئك الناس ، الذين درسوا الفيزياء : انهم يدعون بان سبب انطلاق الصاروخ ، يعود الى قيام الغازت الناتجة عن احتراق البارود ، بدفع الهواء عند خروجها من الصاروخ . ان هذا التفسير كان معروفا منذ قديم الزمان (لان الصواريخ هى من الاختراعات القديمة) ، وما زال الناس حتى يومنا هذا ، يعتقدون بصحة هذا القول . ولكن اذا اطلقنا الصاروخ فى جو خال من الهواء ، فسينطلق بسرعة تزيد على سرعة انطلاقه فى الهواء . ان السبب الحقيقى لانطلاق الصاروخ يختلف عن السبب السابق اختلافا تاما . لقد اوضح هذا السبب بصورة مفهومة ومبسطة ، المناضل الثورى الروسى كيبالجيج ، الذى اتهم بالاشتراك بمحاولة اغتيال القيصر الكسندر الثانى واعدم ، وقد جاء ذلك الايضاح فى مذكراته ، التى كتبها اثناء وجوده فى زنزانة الاعدام ، وكانت تلك المذكرات تتحدث عن مركبة طائرة اخترعها بنفسه . وقد وصف مبدأ تركيب المحرك الصاروخى ، الذى كان عليه ان يرفع المركبة بما فيها من مسافرين واحمال الى اعالى الجو ، كما يلى :

« نأخذ اسطوانة من الصفيح ، تكون احدى قاعدتيها مفتوحة ، والقاعدة الاخرى مسدودة ، ثم ندخل فيها اسطوانة بنفس الحجم تقريبا ، تتكون من رزمة محكمة من البارود ، وتحتوى على قناة فى مركزها . يبدأ احتراق البارود من سطح القناة ، وينتشر



شكل ٥ : الارصفة المتحركة .

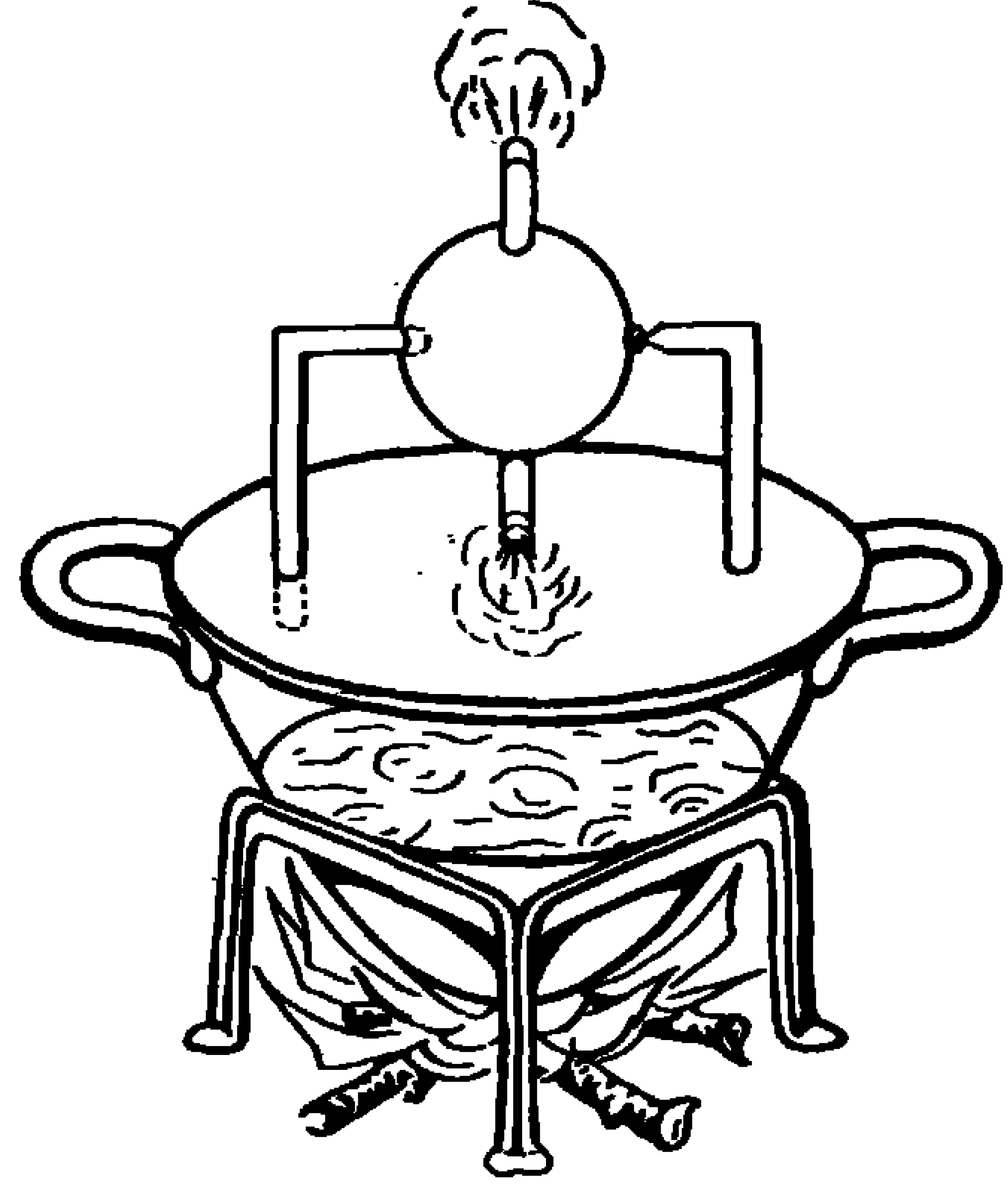
فى فترة معينة من الزمن الى السطح الخارجى لرزمة البارود ، وهكذا ، فان الغازات الناتجة عن الاحتراق ، تحدث ضغطا على جميع الجهات . ولكن الضغوط الجانبية للغازات تتوازن مع بعضها . اما الضغط المؤثر على قاعدة اسطوانة الصفيح ، فلا يتوازن مع الضغط المؤثر فى الاتجاه المعاكس (لان للغازات فى هذا الاتجاه منفذا حرا) . وبذلك يدفع الصاروخ الى الامام ، فى الاتجاه الذى وضع فيه قبل احتراق البارود » .

وهنا يحدث نفس الشىء الذى يحدث عند اطلاق القذيفة من المدفع ، حيث تنطلق القذيفة الى الامام ، بينما يرجع المدفع الى الوراء . لنأخذ « ارتداد » البندقية مثلا ، وبصورة عامة ، ارتداد كافة الاسلحة النارية . فلو فرضنا ان المدفع معلق فى الهواء ولا يرتكز على اى شىء ، لرأينا انه بعد الاطلاق ، سيتحرك الى الوراء بسرعة معينة ، تقل عن سرعة القذيفة بعدد من المرات يساوى عدد مرات زيادة وزن المدفع على وزن القذيفة . وفى قصة جول فيرن الخيالية « رأسا على عقب » ، فكر ابطال القصة فى استخدام قوة ارتداد مدفع جبار للقيام بمشروع عظيم وهو « تعديل محور الكرة الارضية » .

ان الصاروخ لا يختلف عن المدفع الا بشىء واحد ، هو ان المدفع يطلق القذائف ، اما الصاروخ فيطلق الغازات الناتجة من احتراق البارود . ولنفس السبب بالذات تدور اللعبة المسماة بـ « الدولاب الصينى » ، التى ربما يكون القارىء قد تمتع بمشاهدتها اثناء

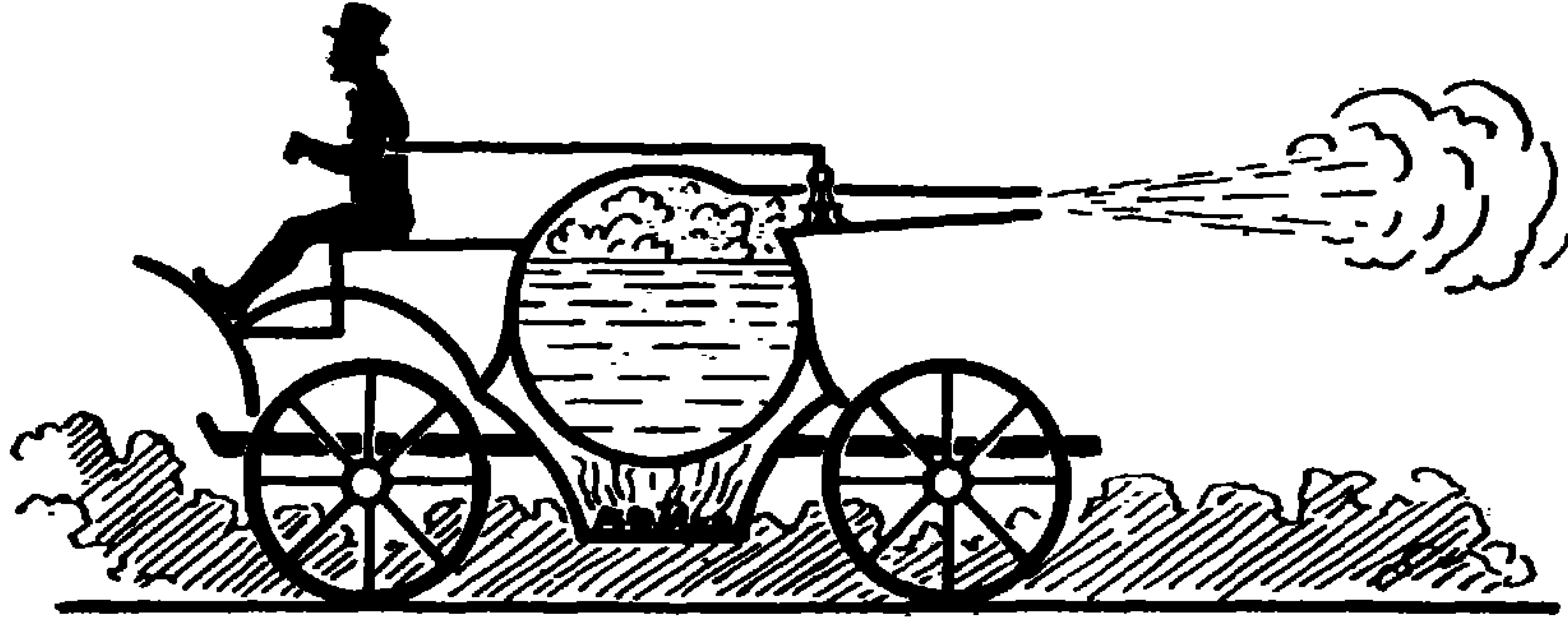
عرض الالعاب النارية : عند احتراق البارود الموجود فى انابيب مثبتة فى دولاب ، تخرج منها الغازات فى احد الاتجاهات اما الانابيب بالذات (ومعها الدولاب) ، فتتحرك فى الاتجاه المعاكس . وما هذه اللعبة فى الحقيقة ، الا احد انواع الجهاز الفيزيائى المعروف، المسمى بدولاب سيجنير .

ومن الطريف ان نشير الى انه قبل اختراع الباخرة، كان يوجد تصميم لسفينة ميكانيكية الحركة ، مبنى على نفس المبدأ المذكور اعلاه . وكانت فكرة التصميم تقوم على قذف احتياطى الماء الموجود على ظهر السفينة الى المؤخرة ، على شكل تيار مائى ، بواسطة مضخة ضغط قوية . ونتيجة لذلك ، تتحرك السفينة الى الامام ، مثلما تتحرك علب الصفيح العائمة ، التى تستخدم فى مختبرات الفيزياء المدرسية ، للبرهنة على صحة المبدأ الذى يجرى بحثه . ولم يتحقق هذا المشروع فى ذلك الحين ، ولكنه لعب دورا مهما فى مساعدة فولتون على اختراع السفينة البخارية ــ الباخرة . وفى الوقت الحاضر ، توجد فى الاتحاد السوفييتى عدة سفن مصممة على مبدأ التحرك بواسطة قذف تيارات من الماء الى الوراء .



شكل ٦ : اقدم مكنة بخارية (تربينة) ، اقترن اختراعها باسم هيرون الاسكندرى فى القرن الثانى قبل الميلاد .

ونعرف كذلك، بان اقدم مكنة بخارية،وهى المكنة التى اخترعها هيرون الاسكندرى فى القرن الثانى قبل الميلاد ، كانت مصممة على نفس المبدأ ايضا : يدخل البخار من المرجل الى الانبوب (شكل ٦) ، ويصل عن طريقه الى كرة مجوفة ، مثبتة على محور افقى . وعندما يخرج البخار بعد ذلك من انابيب مرفقية الانحناء ، يدفع هذه الانابيب الى الحركة فى اتجاه معاكس ، وبذلك تبدأ الكرة بالدوران . ومع الاسف ، بقيت مكنة

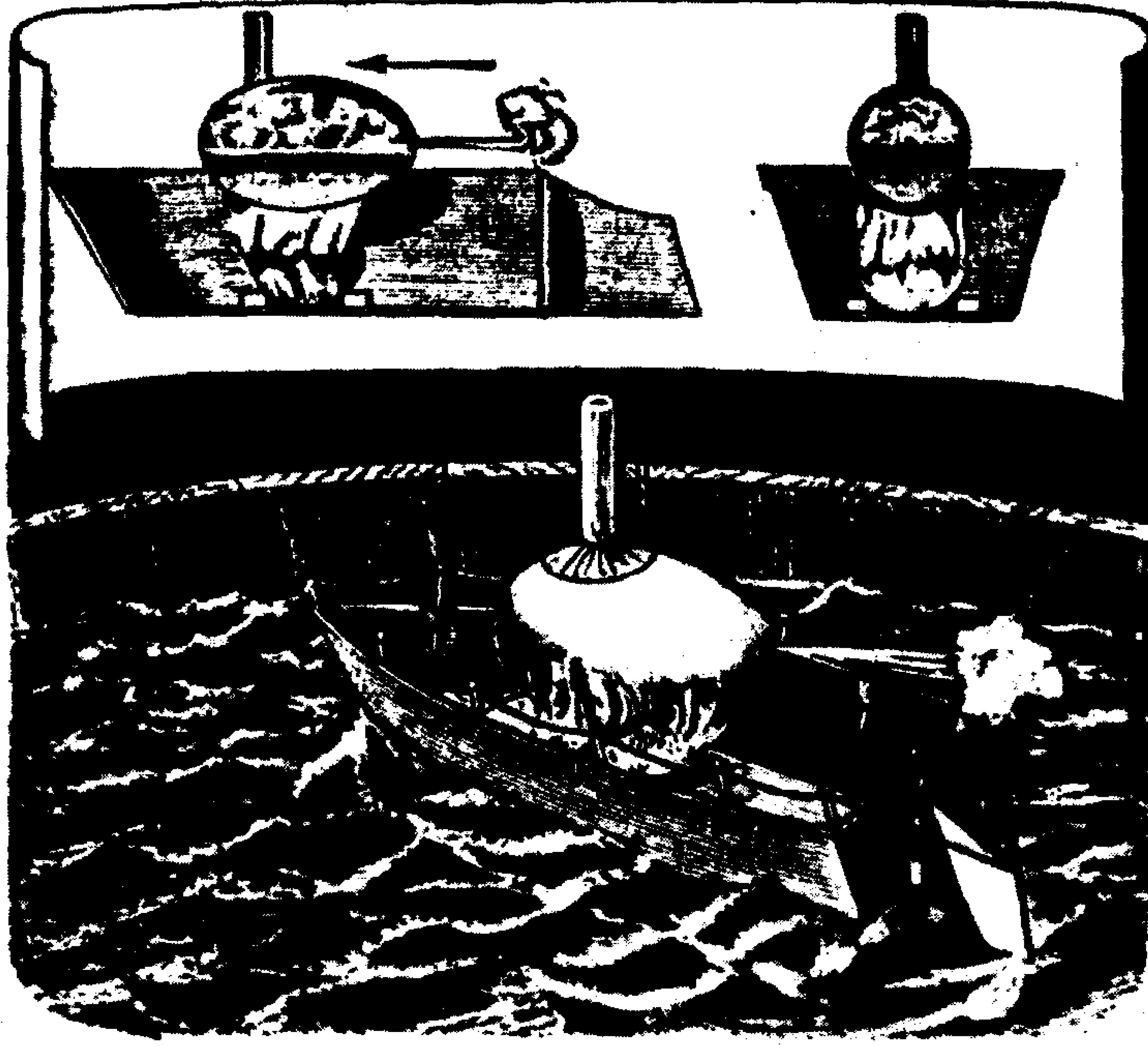


شكل ٧ : سيارة بخارية اقترن اختراعها باسم العالم نيوتن .

هيرون البخارية فى الزمن القديم ، مجرد لعبة مسلية فقط ، لان العمل الذى كان يقوم به العبيد لقاء اجور ضئيلة ، لم يحفز احدا من الناس على التفكير فى استخدام تلك المكنة للاغراض العملية . ولكن التكنيك لم يهمل ذلك المبدأ ، حيث انه يطبق فى الوقت الحاضر ، عند صناعة التربينات النفاثة .

ويقال بان احد اقدم التصاميم التى وضعت للسيارة البخارية، يعود الى العالم الشهير نيوتن ، صاحب قانون الفعل ورد الفعل . والتصميم المذكور مبنّى على نفس المبدأ السابق ، حيث ينفث البخار من مرجل موضوع على عجلات . وبنتيجة الارتداد ، يتحرك المرجل فى الاتجاه المعاكس للاتجاه الذى ينفث منه البخار (شكل ٧) . والسيارات الصاروخية ، هى عبارة عن احدث الانواع المتطورة لعربة نيوتن البخارية .

ونقدم للقراء، الذين يحبون صنع النماذج ، صورة لباخرة صغيرة من الورق (شكل ٨) ، تشبه عربة نيوتن البخارية شبها كبيرا . وتتكون هذه الباخرة من مرجل بخارى ، عبارة عن بيضة مفرغة ، يتم تسخينها بقطعة ملتهبة من القطن مبللة بالكحول ومحشورة فى كشتبان موضوع تحت البيضة المفرغة . وبخروج تيار البخار من البيضة ، تتحرك الباخرة الصغيرة فى الاتجاه المعاكس لاتجاه البخار .



شكل ٨ : باخرة صغيرة للهو الاطفال ، مصنوعة من ورقة وقشرة بيضة . اما الوقود فهو عبارة عن كحول مصبوب فى كشتبان . أن البخار المندفع من فتحة الغلاية – قشرة البيضة – ، يجعل الباخرة الورقية تتحرك فى الاتجاه المعاكس .

كيف يسبح الحبّار ؟

سيندهش القارىء عند سماعه بوجود عدد من الكائنات الحية ، التى تصبح مسألة « رفع الجسم ذاتيا من الشعر » ، بالنسبة اليها ، طريقة عادية للسباحة فى الماء .

ان الحيوان البحرى المسمى بالحبار ، ومعظم الرخويات (الرأسيات) بصورة عامة، تتحرك فى الماء بالطريقة التالية : تسحب الماء الى خياشيمها من خلال شق جانبى وقمع خاص فى مقدمة الجسم ، ثم تقذفه الى الخارج بقوة ، فينفث على هيئة نافورة من خلال ذلك القمع . وبهذا العمل تندفع الى الوراء – حسب قانون رد الفعل – بقوة كافية



شكل ٩ : الحركة التى يقوم بها الحبار عند سباحته فى الماء .

لجعل القسم الخلفى من الجسم يتحرك سريعا الى الامام ، فى داخل الماء . وبهذه المناسبة ، فان الحبار يستطيع توجيه فتحة القمع الى احد الجوانب او الى الوراء ، وينفث منها الماء بقوة ، ليتحرك في الاتجاه المطلوب . وحركة قنديل البحر ، مبنية على نفس المبدأ ، حيث انه بتقلص عضلاته ، يعمل على نفث الماء من تحت جسمه ، الذى يشبه الجرس ، فيندفع بذلك فى الاتجاه المعاكس . وهناك انواع اخرى من الحيوانات البحرية ، التى تستخدم نفس الطريقة المذكورة عندما تسبح فى الماء . وهذه الوقائع لا تترك مجالا للشك فى وجود مثل هذه الطريقة للحركة .

السفر الى الكواكب بواسطة الصواريخ

هل هناك شئ اروع من مغادرة الكرة الارضية والقيام بجولة فى الفضاء كالتحليق من الارض الى القمر ، ومن كوكب الى آخر ؟ ان القصص الخيالية التى كتبت حول

هذا الموضوع كثيرة جدا ! ومن هذه القصص : قصة « ميكروميجاس » لفولتير ، وقصتا « رحلة الى القمر » و « هيكتور سيرفاداك » لجول فيرن ، وقصة « اول اناس على سطح القمر » لويلز . لقد قام هؤلاء جميعا وكثير من اتباعهم الذين اقتدوا بهم ، برحلات خيالية ممتعة جدا الى الكواكب .

ولكن، الا توجد اية امكانية لتحقيق هذا الحلم القديم ؟ وهل يستحيل فى الواقع تحقيق جميع المشاريع الموضوعة بمهارة ، بتصوراتها الرائعة القريبة من الحقيقة ، التى وصفها لمؤلفون فى قصصهم الخيالية ؟ سوف نتحدث فيما بعد عن المشاريع الخيالية للسفر بين الكواكب . اما الآن ، فلنتعرف على احد المشاريع الحقيقية لمثل هذه الرحلات الكونية ، الذى وضعه لاول مرة ، العالم الروسى العظيم قسطنطين تسيولكوفسكى .

هل يمكن التحليق الى القمر على متن احدى الطائرات ؟ بالطبع لا يمكن ذلك. لان الطائرات والمناطيد ذات المحركات ، لا تستطيع التحليق الا بوجود جو من الهواء ، تدفعه بمحركاتها . اما بين الارض والقمر فلا يوجد هواء ، وبصورة عامة لا يوجد اى وسط كثيف ، ترتكز عليه « المناطيد الكونية » . وهذا يعنى اننا يجب ان نخترع مركبة ، يمكنها ان تطير وتتحكم فى طيرانها ، بدون ان ترتكز على اى شئ .

لقد تعرفنا سابقا على قذيفة من هذا النوع — الصاروخ الورقى. فما الذى يمنعنا الآن من صنع صاروخ ضخم ، يحتوى على صالة خاصة للركاب ، وعلى مؤونة من المواد الغذائية وبالونات مملؤة بالهواء وغير ذلك من الاشياء الضرورية ؟ لنفرض ان ركاب الصاروخ يحملون معهم احتياطيّا كبيرا من الوقود ، ويمكنهم توجيه الغازات المتفجرة الى اية جهة كانت . سيكون لدينا عندئذ ، مركبة فضائية حقيقية يمكن التحكم فيها ، والسفر بواسطتها عبر الفضاء الكونى ، والوصول الى القمر والى الكواكب الاخرى ... وسوف يكون باستطاعة الركاب زيادة سرعة هذه المركبة الفضائية تدريجيا، وذلك باطلاق الغازات المتفجرة . ولا بد من زيادة السرعة بالتدريج لئلا تكون الزيادة الحادة ضارة بالركاب . واذا اراد الركاب النزول على سطح احد الكواكب ، فعليهم ان يديروا

المركبة فى اتجاهه ، ثم يخففوا من سرعة المركبة بالتدريج حتى تستقر برفق على سطح ذلك الكوكب . واخيرا ، يستطيع الركاب العودة الى الارض ثانية بنفس الطريقة .

وهنا نتذكر انجازات الطيران المتواضعة ، التى شاهدناها فى الماضى القريب. اما فى الوقت الحاضر ، فقد اخترقت الطائرات اعلى طبقات الجو ، وحلقت عبر الجبال والصحارى والقارات والمحيطات .

ومن المحتمل ان يحقق السفر بين الكواكب، كثيرا من الانتصارات الباهرة ، بعد عشرين او ثلاثين سنة من الآن . وعندئذ سيحطم الانسان تلك القيود الخفية ، التى طالما شدته الى الارض ، وينطلق فى رحاب الكون ، الذى ليس له حدود على الاطلاق * .

---

* يجب الاشارة هنا الى ان هذا الكتاب قد تم تأليفه قبل البدء باطلاق الاقمار الصناعية والصواريخ المستخدمة فى غزو الفضاء بمدة طويلة .

الفصل الثانى | القوة. الشغل. الاحتكاك

مسألة حول الاوزة والسرطان النهرى والسمكة

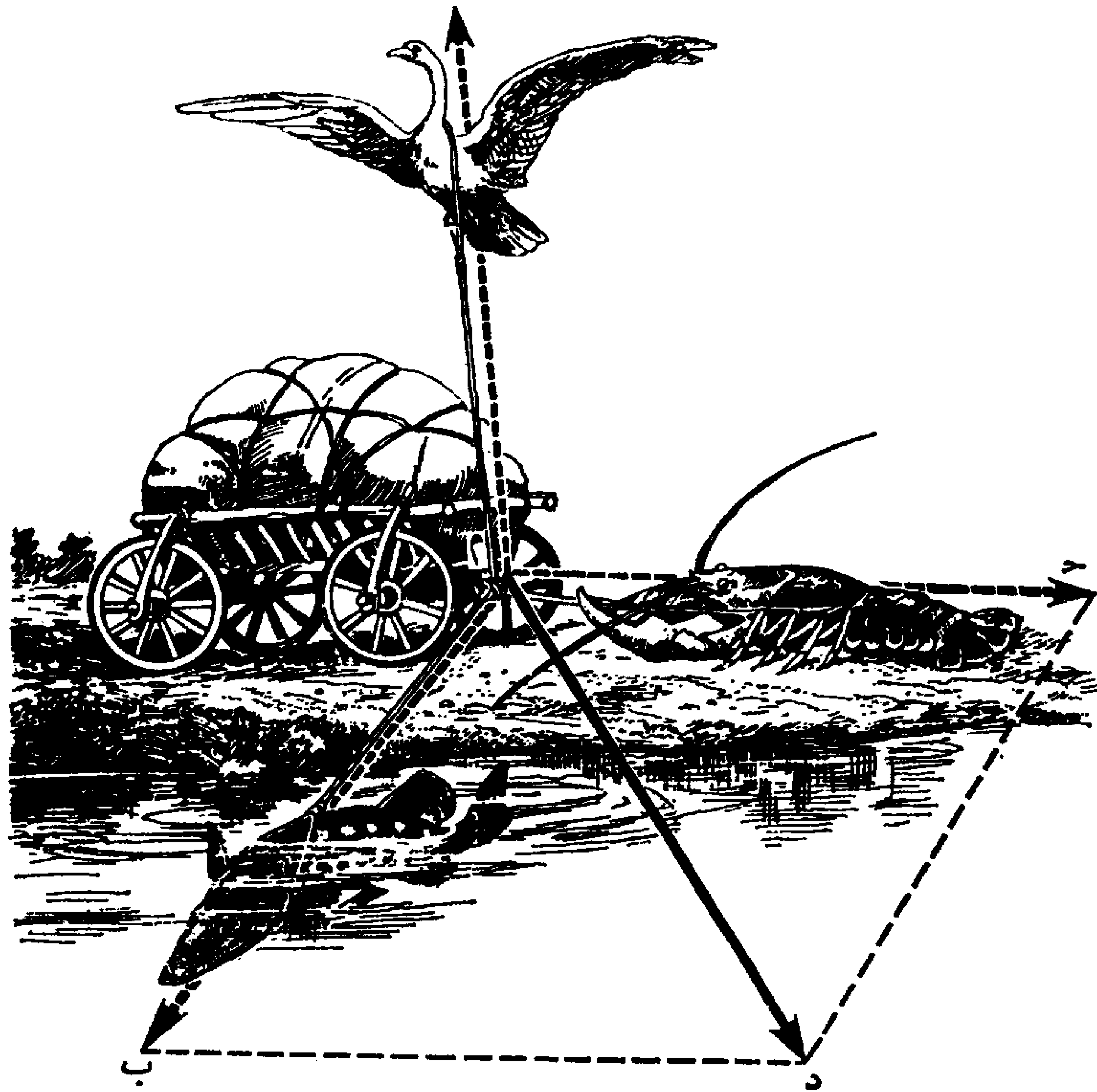
هناك قصة روسية خرافية معروفة لدى الجميع ، تتحدث عن اوزة وسرطان نهرى وسمكة ، حاولوا معا تحريك احدى عربات النقل – كارّو . ولكن لا اعتقد ان احدا من القراء ، حاول بحث تلك الخرافة من وجهة نظر علم الميكانيكا . ولو فعلنا ذلك لوجدنا ان النتيجة التى سنتوصل اليها ، لا تتفق مطلقا مع النتيجة التى استخلصها كاتب القصة الخرافية المذكورة .

ان هذه القصة تحتوى على مسألة ميكانيكية ، تتعلق بتركيب (جمع) عدة قوى ، تؤثر على العربة ، بحيث تشكل كل قوة زاوية معينة مع الاخرى . الاوزة تسحب العربة الى الاعلى ، والسرطان الى الوراء ، والسمكة الى داخل الماء .

وهذا يعنى ، كما يتضح من الشكل – ١٠ ، ان القوة الاولى – سحب الاوزة ، متجهة الى الاعلى ، والقوة الثانية – سحب السمكة (م ب) ، متجهة الى الجانب ، والقوة الثالثة – سحب السرطان (م حـ) ، متجهة الى الوراء . ويجب الاّ ننسى وجود قوة رابعة – وهى وزن العربة – متجهة عموديا الى الاسفل . وتؤكد القصة بان العربة بقيت فى محلها ولم تتحرك . وبعبارة اخرى ، ان محصلة كافة القوى المؤثرة على العربة ، تساوى صفرا .

ولكن هل هذا صحيح ؟ لنبحث ذلك ونرى . ان الاوزة التى تسحب العربة الى الاعلى ، لا تعرقل عمل السرطان والسمكة ، بل تساعدهما فى عملهما ، لان قوة سحب الاوزة ، المتجهة الى الاعلى ، تقلل من احتكاك عجلات العربة بالارض وبالمحور ،

وبذلك تخفف من وزن العربة ، حتى انها قد تعادل ذلك الوزن تماما ذلك لان وزن العربة كان خفيفا ، كما جاء فى القصة الخرافية المذكورة . واذا فرضنا ان قوة سحب الاوزة ، تعادل وزن العربة ، وذلك لتسهيل حل المسألة ، تبقى لدينا قوتان فقط ، هما قوة سحب السرطان وقوة سحب السمكة . وبالاستناد الى حوادث القصة ، نستطيع معرفة الاتجاه الذى تؤثر فيه كل من هاتين القوتين — السرطان يسحب العربة الى الوراء ، والسمكة تسحبها الى داخل الماء . وبطبيعة الحال ، نفهم من ذلك ان النهر كان يقع الى احد جوانب العربة ، وليس امامها (لان الحيوانات الثلاثة لم تحاول اغراق العربة فى النهر



شكل ١٠ : مسألة الاوزة والسمكة والسرطان النهرى ، التى تم حلها باستخدام قوانين الميكانيكا . أن محصلة القوى (م د) يجب أن تسحب العربة الى النهر .

بتاتا ، كما جاء في القصة المذكورة) . وهذا يعنى ان هناك زاوية معينة بين اتجاه قوة السرطان ، واتجاه قوة السمكة . ولما كانت القوتان غير واقعتين على خط مستقيم واحد ، ففى هذه الحالة لا تكون محصلتهما مساوية للصفر باى حال من الاحوال .

والآن نطبق قوانين الميكانيكا ، فنرسم على كلا اتجاهى القوتين م ب و م حـ . متوازى اضلاع ، يكون قطره م د ، ممثلا للمحصلة فى المقدار والاتجاه . ومن الواضح ان هذه المحصلة ، يجب ان تحرك العربة من مكانها ، خاصّة وان وزن العربة يتعادل كليا او جزئيا مع قوة سحب الاوزة . وهنا نطرح سؤالا ثانيا : ما هو اتجاه حركة العربة — الى الامام ام الى الوراء ام الى احد الجوانب ؟ ان هذا الامر يعتمد على النسبة بين القوتين ، وعلى مقدار الزاوية الموجودة بينهما .

ان القراء الذين لهم بعض الالمام بعمليتى تركيب وتحليل القوى ، سوف يدركون فى هذه الحالة ، بانه حتى اذا لم يتعادل وزن العربة مع قوة سحب الاوزة ، فان العربة لا يمكن ان تبقى ثابتة فى مكانها . ويمكن الا تتحرك العربة بتأثير هذه القوى الثلاث ، فى حالة واحدة فقط ، هى عندما يكون الاحتكاك بين العجلات والمحور او بين العجلات والطريق ، اكبر من محصلة تلك القوى المؤثرة . وهذه النتيجة لا تتفق مع تأكيد كاتب القصة الخرافية ، بان العربة كانت خفيفة جدا عندما بدأت الحيوانات الثلاثة بسحبها .

وعلى كل حال ، لم يستطع كاتب القصة المذكورة ، ان يثبت بان العربة ستبقى ثابتة فى محلها ولن تتحرك . وهذا بطبيعة الحال ، لا يؤثر على فكرة القصة الخرافية .

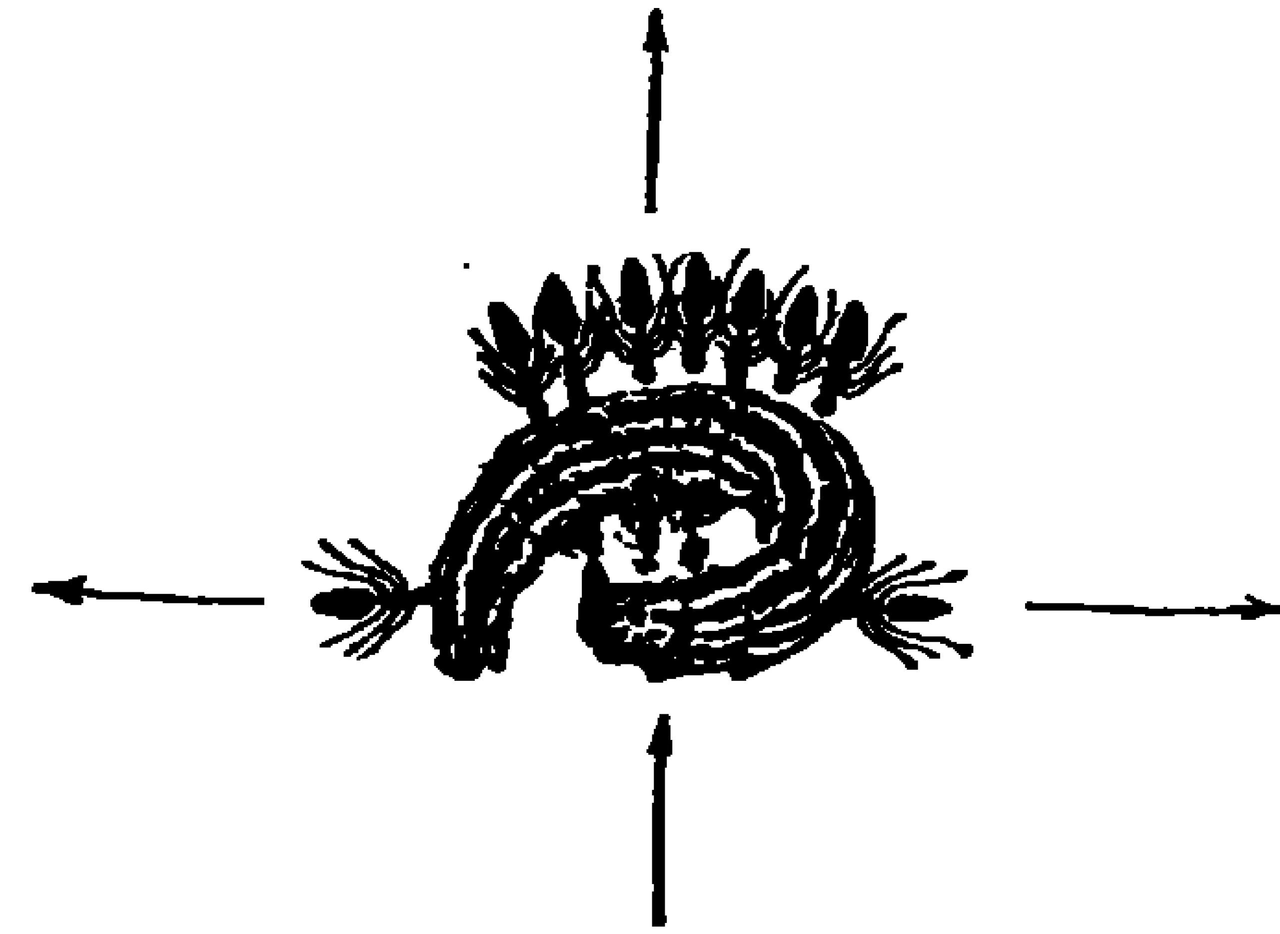
اعتراض على آراء كاتب القصة الخرافية

لقد رأينا الآن ان القانون الدنيوى ، الذى وضعه مؤلف القصة الخرافية السابقة ، والذى ينّص على انه « عندما يختلف الاصدقاء ، لا تسير امورهم على ما يرام » — لا يتفق دائما مع علم الميكانيكا. وقد تكون اتجاهات القوى مختلفة تماما ، ولكن القوى مع ذلك تعطى نتيجة معينة .

وقليل من الناس يعرف ان الحشرات الكادحة الدؤوبة ــ النمل ، التى مدحها كاتب القصة واعتبرها مثالا للشغيلة ، تعمل بصورة موحدة ، بالطريقة التى سخر منها كاتب القصة الخرافية بالذات . ونرى ان امور النمل تسير على ما يرام بصورة عامة . وهنا يعود الفضل مرة اخرى الى قانون تركيب القوى . واذا تتبعنا النمل اثناء عمله بانتباه ، لاقتنعنا فى الحال ، بان التعاون الموجود بينهم ، هو شىء ظاهرى فقط . اما فى الحقيقة ، فان كل نملة تعمل لنفسها ، ولا تفكر فى مساعدة نملة اخرى مطلقا .

وقد وصف احد علماء الحيوان ، العمل الذى يقوم به النمل ، كما يلى :

« اذا قامت مجموعة من النمل بجر غنيمة كبيرة نسبيا ، على ارض مستوية ، يكون العمل موزعا بين النمل بالتساوى ، حتى يبدو للمراقب فى الظاهر ، ان هناك تعاونا تاما بين الجميع . ولنفرض الان ان الغنيمة ، مثلا احدى الديدان ، علقت باحد الحواجز ــ بحجرة او بساق عشب ما ، واصبح جر الغنيمة الى الامام مستحيلا ، ولا بد من الاستدارة حول ذلك الحاجز . وهنا يتبين بوضوح ، ان كل نملة تحاول تخليص الغنيمة من الحاجز ، بطريقتها الخاصة وبدون ان تتدبر الامر مع اية نملة اخرى من مجموعتها (لاحظ الشكلين ١١ و١٢) . وسنرى ان هذه النملة تجر الغنيمة الى اليمين ، والثانية تجرها الى

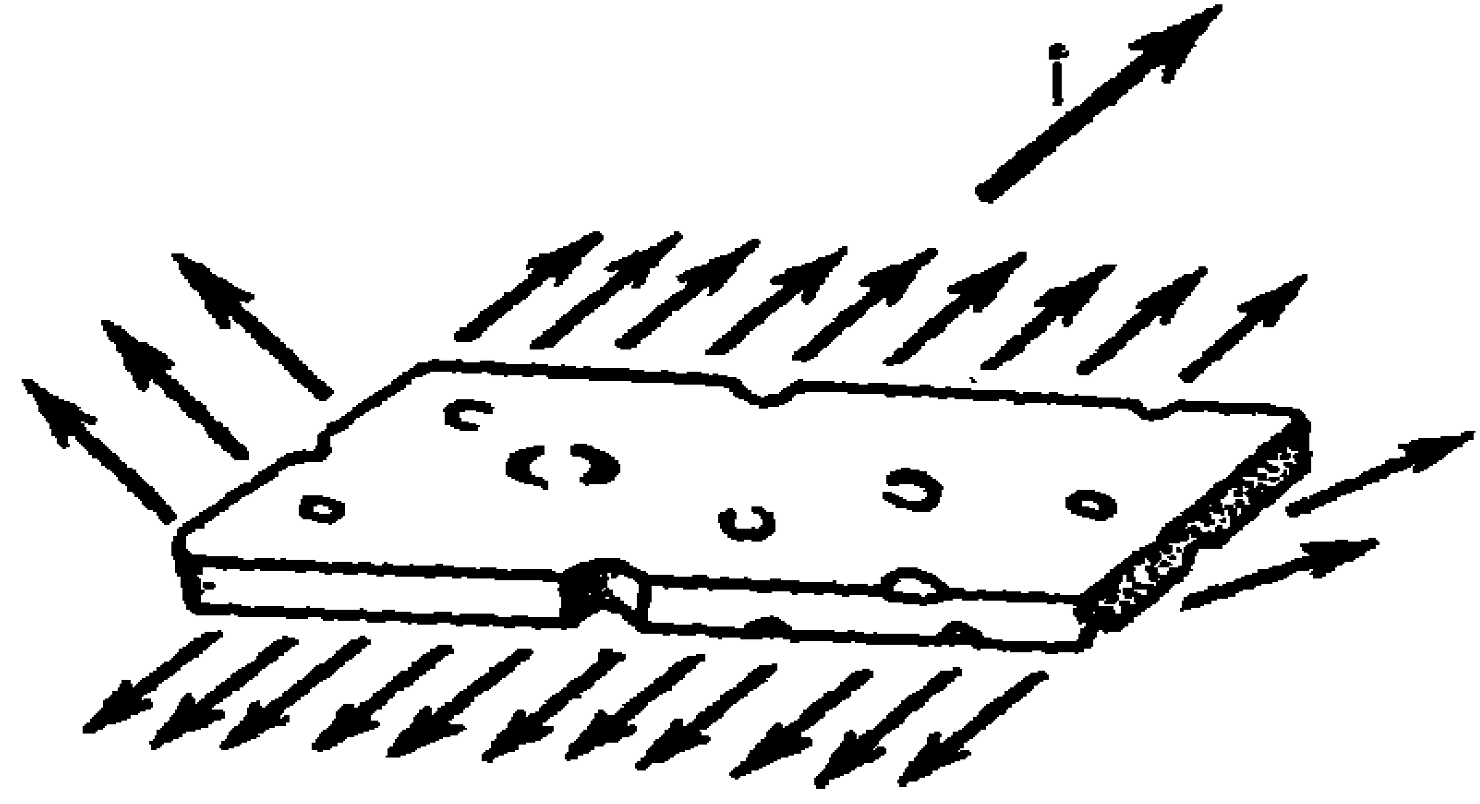


شكل ١١ : الطريقة التى يجر بها النمل الاسروع .



شكل ١٢ : الطريقة التى يجر بها النمل الغنيمة . تشير الاسهم الى الاتجاهات التقريبية لقوى الجر ، الصادرة عن كل نملة من النمل على انفراد .

اليسار ، والثالثة الى الامام ، والرابعة الى الوراء .. وهكذا . ثم تتحول كل نملة من مكان الى آخر ، وتمسك بالغنيمة من موضع مختلف ، وتدفعها او تسحبها على طريقتها الخاصة . فاذا حدث ان اجتمعت قوى النمل العامل ، بحيث كانت ٤ نملات تجر الغنيمة الى احدى الجهات ، و٦ نملات مثلا ، تجرها الى جهة اخرى ، فاننا سنرى في نهاية المطاف ، ان الغنيمة ــ الدودة ــ ستتحرك باتجاه النملات الست بالضبط ، بغض النظر عن مقاومة النملات الاربع » .



شكل ١٣ ــ الطريقة التي يحاول بها النمل جر قطعة من الجبن ، الى وكرها الواقع باتجاه السهم أ .

ونقدم الآن مثالا تعليميا آخر ، يبيّن بوضوح ، التعاون المزعوم بين النمل . يوضح الشكل ــ ١٣ ، قطعة مستطيلة من الجبن ، وقد امسكت بها ٢٥ نملة . تحركت قطعة الجبن ببطء ، في الاتجاه المبيّن بالسهم أ . وقد يتراءى للقارئ ، ان الصف الامامي للنمل ، يجر قطعة الجبن نحوه ، وان الصف الخلفي يدفعها الى الامام ، كما ان النمل الموجود على الجوانب ، يساعد كلا من الصفين الامامي والخلفي . ولكن الامر ليس كذلك ، ويمكن التأكد منه بسهولة : نفصل الصف الخلفي بواسطة سكين ، فنرى ان قطعة الجبن تزحف بسرعة اكبر الى الامام ، مما يؤكد بان الاحدى عشرة نملة ، كانت تجر قطعة الجبن الى الوراء لا الى الامام . وقد حاولت كل نملة ايصال قطعة الجبن الى وكرها ، وذلك بجرها الى الوراء ، وهذا يعني ان الصف الخلفي لم يكتف بعدم مساعدة الصف الامامي ، بل قام بعرقلة عمله وذلك بالقضاء على جهوده . وقد كان باستطاعة اربع نملات فقط ، جرّ قطعة الجبن المذكورة . ولكن عدم تناسق العمل ، ادى الى استخدام ٢٥ نملة لجرّ قطعة الجبن .

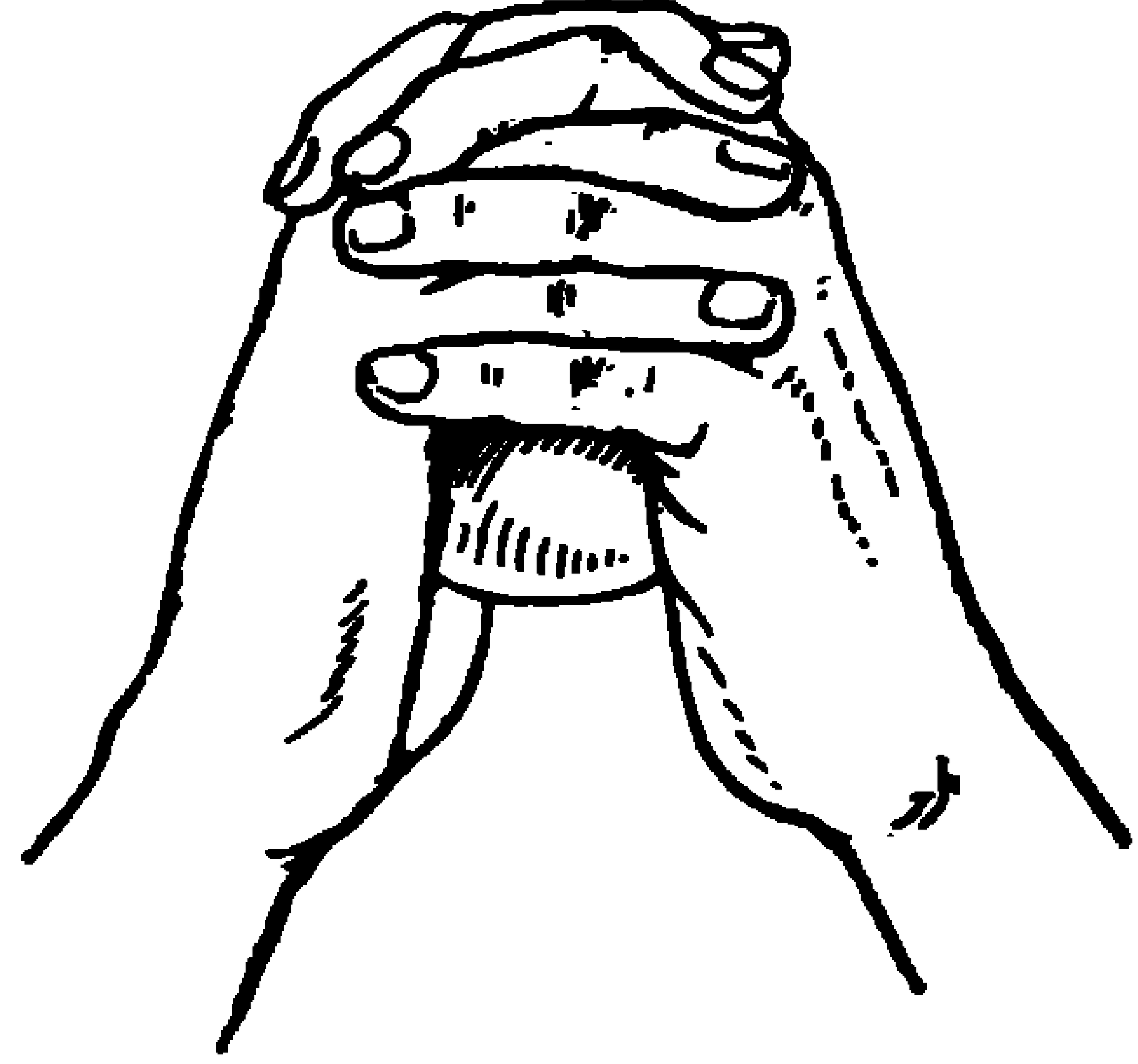
وخاصية العمل الموّحد للنمل هذه ، معروفة منذ زمن بعيد ، وقد اشار اليها الكاتب الساخر مارك توين . ويتحدث الكاتب عن التقاء نملتين ، كانت احداهما قد عثرت على ساق احد الصراصير ، فيقول : « لقد امسكت كل نملة باحد طرفى الساق ، وراحت تجره بكل قوتها فى اتجاه معاكس لاتجاه النملة الاخرى . وقد شعرتا بان فى الامر شئ ، لا تستطيعان ادراكه . وتحدث بينهما مهاترة ، ما تلبث ان تتحول الى مشاجرة فعلية ... ولكنهما سرعان ما تتصالحان وتبدآن من جديد بعملهما الموحد ، الذى لا جدوى منه ، وهنا تكون النملة التى اصيبت من جراء المشاجرة ، معرقلة للعمل لا غير . وتبذل النملة الاخرى كل ما فى وسعها من قوة لجر الساق ، ومعها النملة المصابة ، التى تتعلق على الساق ، بدلا من التخلى عنها » . ويلفت مارك توين الانتباه بشكل ساخر ، الى ملاحظة صحيحة تماما ، وذلك عندما يقول : « ان النمل لا يعمل بصورة جيدة ، الا عندما يقوم بمراقبته عالم طبيعى غير مجرب ، يتوصل الى استنتاجات خاطئة » .

هل من السهل كسر قشرة البيضة ؟

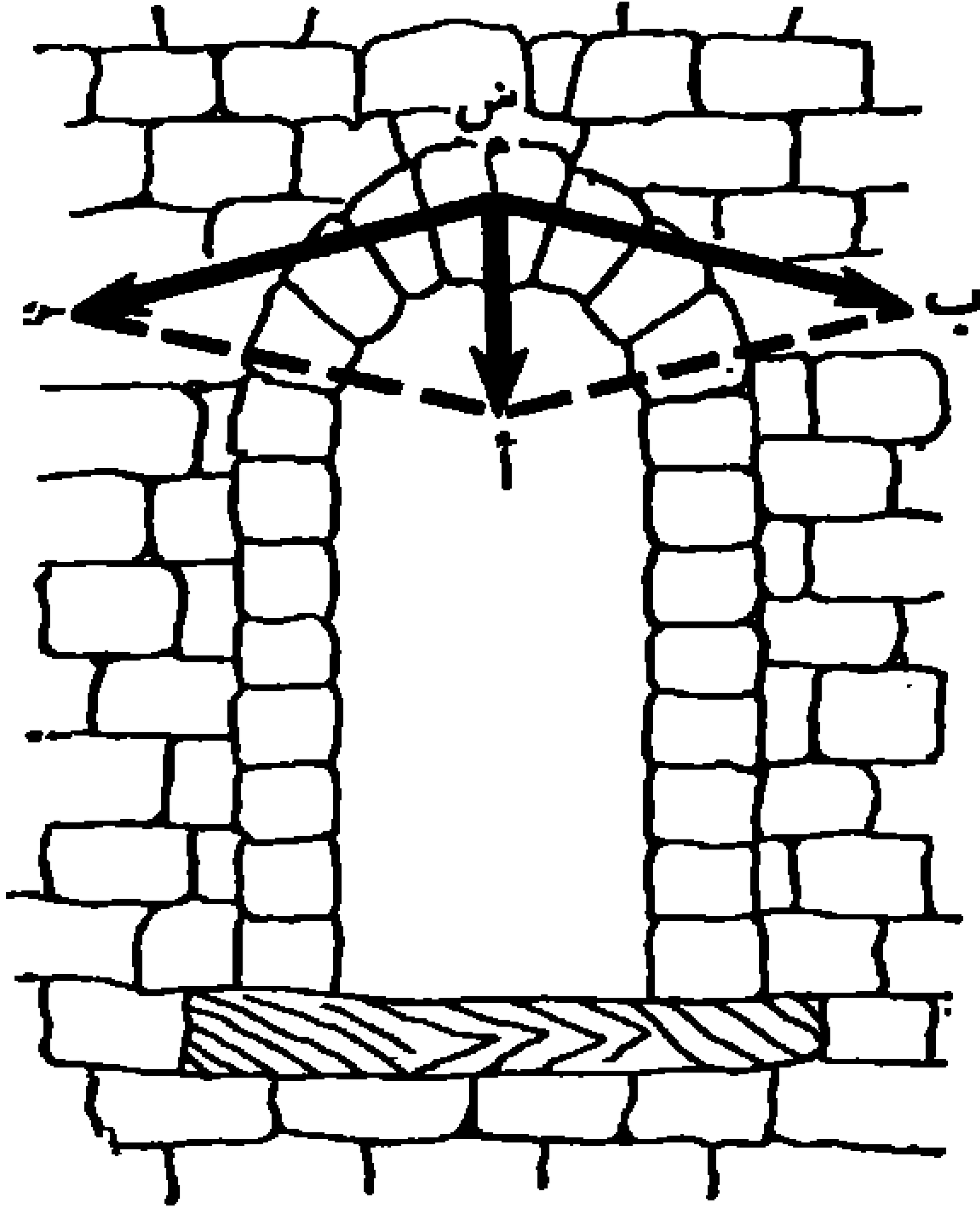
من جملة المسائل الفلسفية ، التى حيرت احد الاشخاص العميقى التفكير — وهو كيفا موكييفيتش احد ابطال قصة الكاتب الروسى العظيم غوغول « الارواح الميتة » — المسألة التالية : « اذا فرضنا ان الفيل يولد فى داخل البيضة ، فهل ستكون قشرتها فى هذه الحالة سميكة جدا ؟ اننى اخشى ان تكون كذلك . اما اذا كانت سميكة فلما استطعنا اختراقها حتى بقذيفة مدفع ، ولاحتجنا الى اختراع اسلحة جديدة فعالة » .

ربما كان « فيلسوف » غوغول ، سيصاب بدهشة مماثلة ، لو علم بان قشرة البيضة العادية ، بغض النظر عن كونها رقيقة ، لا تعتبر فى الحقيقة شيئا رقيقا كما يبدو . ان كسر قشرة البيضة ، بالضغط على طرفيها براحتى اليد (شكل ١٤) ، ليس بالامر إلسهل جدا . اذ انه يحتاج الى قوة لا يستهان بها ، عند وضع البيضة بالصورة المبينة فى الشكل السابق * .

* يجب الحذر عند اجراء هذه التجربة ، لتجنب احتمال انغراز القشرة فى راحة اليد .



شكل ١٤ : يحتاج الشخص الى قوة كبيرة لكسر البيضة الموضوعة بين يديه بالشكل المبين أعلاه .



شكل ١٥ : السبب الذى يجعل العقد جيد المقاومة .

ان الصلابة غير الاعتيادية لقشرة البيضة ، تعتمد بصورة قاطعة على شكلها المحدب ، وتعلل بنفس الاسباب التى تعلل بها مقاومة مختلف انواع القناطر والعقود .

ويبيّن الشكل ١٥ ، عقدا حجريا صغيرا فوق احدى النوافذ . ان الحمل س (اى وزن اقسام البناء الموجودة فوق العقد) الذى يرتكز على الحجر الوسطى الاسفيني للعقد ، يضغط الى الاسفل ، بالقوة المشار اليها بالسهم أ فى الشكل السابق . ولكن الحجر لا يمكن ان يتحرك الى الاسفل ، وذلك بسبب شكله الاسفيني ، ويكتفى فى هذه الحالة بالضغط على الاحجار المجاورة له . وفى هذه الحالة تتحلل القوة أ ، حسب قانون متوازى الاضلاع ، الى قوتين (مركبتين) ، اشير اليهما بالسهمين ب و حـ . وهاتان القوتان ، تتعادلان مع مقاومة الاحجار المجاورة ، التى تكون بدورها محصورة بين الاحجار التى تجاورها . وهكذا ، لا يمكن للقوة التى تضغط على العقد من الخارج ، ان تجعله ينهار ، بينما يسهل انهيار العقد نسبيا ، بتأثير القوة المؤثرة من الداخل . وهذا مفهوم ، لان الشكل الاسفيني للاحجار ، الذى يمنعها من الهبوط ، لا يحول دون ارتفاعها بتاتا .

وقشرة البيضة هى عبارة عن عقد، ولكن من النوع المتصل الانحناء. ولا يمكن للضغط الخارجى ان يحطم ذلك العقد بسهولة ، مثلما يحطم اية مادة قصيفة (هشة) . ويمكن ان نجعل القوائم الاربع لمنضدة ثقيلة ، تستند الى اربع بيضات نيئة ، دون ان تتكسر البيضات (لكى نجعل البيضات تنتصب على الارض ، يجب تثبيت قواعدها بالجبس ، الذى يتماسك جيدا مع القشرة الكلسية) .

والآن ، يتضح لنا، لماذا لا تخاف الدجاجة المفرخة من انكسار قشرة البيضة ، عندما تجلس عليها . وفى نفس الوقت ، يستطيع الفرخ الضعيف عندما يريد الخروج من سجنه الطبيعى ، ان يخرق قشرة البيضة بمنقاره من الداخل ، بسهولة تامة . وعندما نكسر قشرة البيضة برفق ، بضربة جانبية بملعقة الشاى ، فاننا لا نتصور مدى مقاومتها للضغط المؤثر عليها فى الظروف الطبيعية . ان الطبيعة قد عملت على حماية الكائن الحى ، النامى فى داخلها ، بدرع متين .

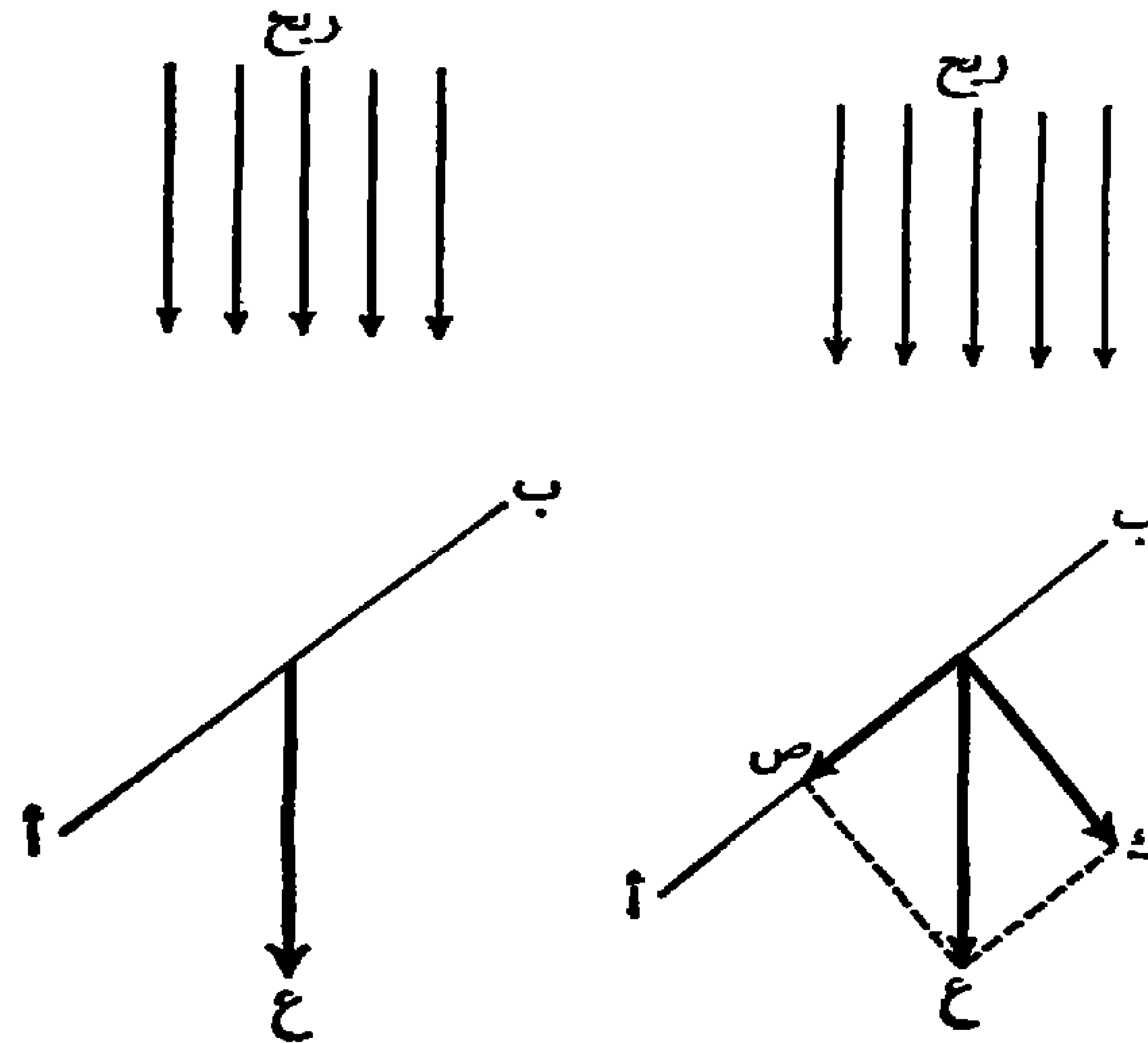
ان المتانة المدهشة للمصابيح الكهربائية، التى تبدو فى الظاهر رقيقة وقصيفة جدا، هى وليدة نفس الظروف التى تمخضت عن متانة قشرة البيضة . وتصبح متانتها اكثر مدعاة للدهشة ، اذا علمنا بان عددا كبيرا منها (الفارغة وليست المملوءة بالغاز) ، لا يحتوى على اى شئ فى داخله تقريبا ، يقوم بمقاومة ضغط الهواء الخارجى . هذا مع ان مقدار ضغط الهواء المؤثر على المصباح الكهربائى ، ليس صغيرا : يتعرض المصباح الكهربائى الذى يبلغ قطره ١٠ سم ، الى ضغط يزيد على ٧٥ كجم (وزن الانسان) ، من كلتا الجهتين . وتشير التجربة، الى قدرة المصباح الكهربائى الفارغ ، على تحمل ضغط يزيد على ما ذكرناه بمرتين ونصف المرة .

الشرعة ضد الريح

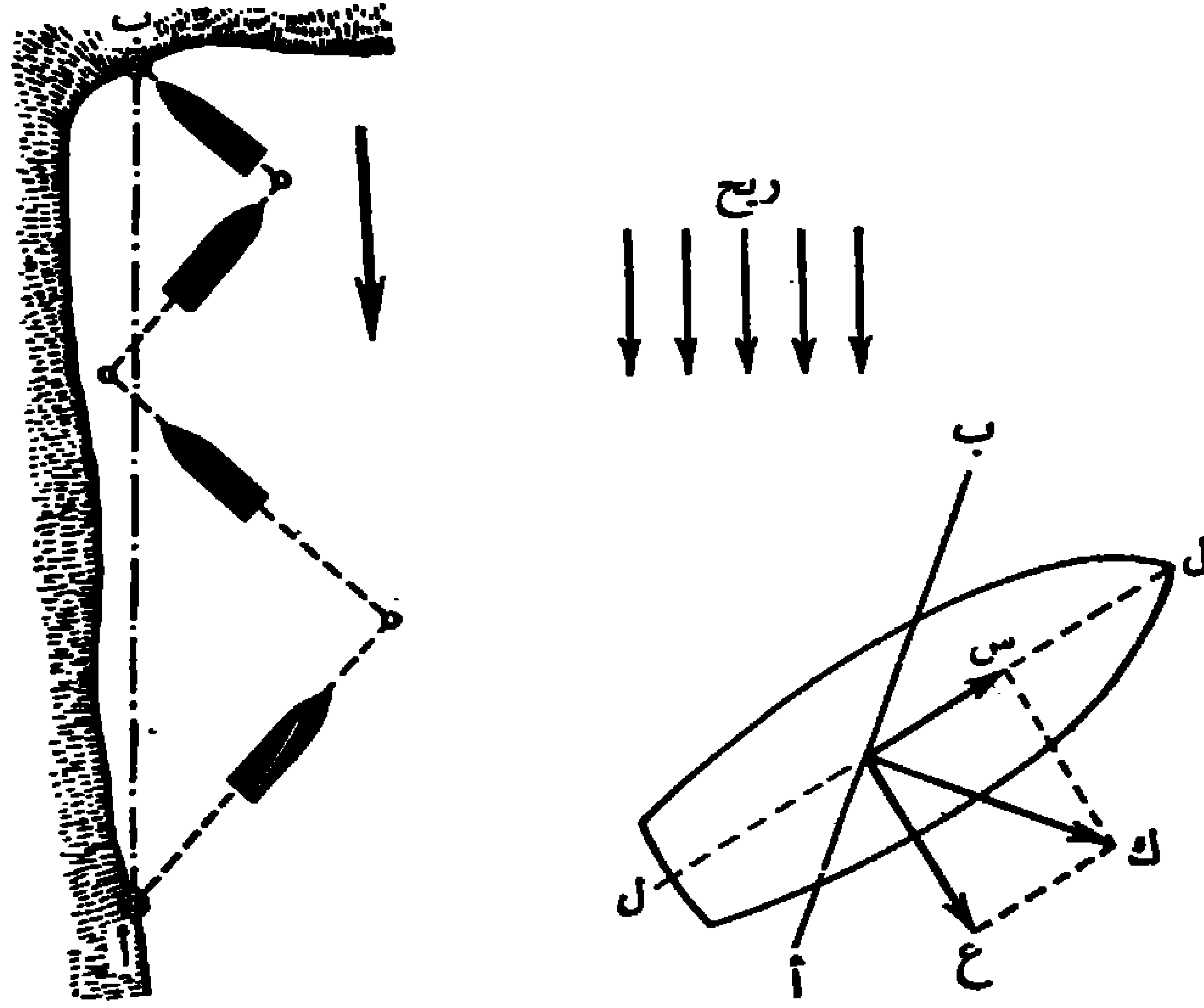
يصعب على المرء ان يتصور كيف يمكن للسفن الشراعية، ان تسير ضد الريح ، او على حد قول البحارة — « قريبا من الاتجاه المعاكس للريح » . وفى الحقيقة ، فان البحّار يقول لك، بانه لا يمكن للسفن الشراعية ان تسير مباشرة ضد الريح ، بل بصورة

منحرفة قليلا عن الاتجاه المعاكس لها . وزاوية هذا الانحراف صغيرة – ربع الزاوية القائمة تقريبا – بحيث تجعل من الصعب على القارئ ان يدرك الفرق بين الابحار في الاتجاه المعاكس للريح مباشرة ، والابحار في اتجاه ينحرف عن ذلك الاتجاه بزاوية قدرها ٢٢°.

ولكن ، يوجد في الواقع فرق بين الامرين، وسنوضح الآن كيف يمكن استخدام قوة الريح ، لتسيير السفن الشراعية في الاتجاه القريب من الاتجاه المعاكس للريح . لنبحث في البداية كيف تؤثر الريح على الشراع بصورة عامة ، اى الى اى اتجاه تدفع الشراع عند تأثيرها عليه . ربما يعتقد القارئ بأن الريح تدفع الشراع دائما ، في نفس الاتجاه الذى تهب فيه . ولكن الامر يختلف عن ذلك ، لانه ايًا كان اتجاه الريح ، فانها سوف تدفع الشراع في الاتجاه العمودى على مستوى ذلك الشراع . لنفرض ان الريح تهب في الاتجاه الذى تبينه الاسهم في الشكل ١٦ ، وان الخط أ ب يمثل الشراع . ولما كانت الريح تؤثر على سطح الشراع بأجمعه بصورة منتظمة ، فاننا نستطيع التعويض عن ضغط الريح بالقوة ع ، المؤثرة في مركز الشراع . نحلل هذه القوة الى مركبتين هما ،



شكل ١٦ : ان الريح تدفع الشراع في الاتجاه العمودى على مستواه دائما .



شكل ١٧ : كيفية تسيير القارب الشراعى فى الاتجاه المضاد للريح .

شكل ١٨ : مراحل مسير القارب الشراعى بالنسبة لهبوب الريح .

القوة ك ، العمودية على الشراع ، والقوة ص ، الممتدة على طول الشراع (شكل ١٦) . ان القوة الاخيرة لا تدفع الشراع فى اى اتجاه ، لان الاحتكاك بين الريح وقماش القنب الذى يصنع منه الشراع ضئيل للغاية . تبقى القوة ك ، التى تدفع الشراع فى الاتجاه العمودى على مستواه .

وبمعرفة ذلك ، نفهم بسهولة ، كيف يمكن للسفينة الشراعية ان تسير فى اتجاه قريب من الاتجاه المعاكس للريح . لنفرض ان الخط ل ل (شكل ١٧) يمثل خط رافدة قص السفينة الشراعية ، وان الريح تهب بحيث تشكل زاوية حادة مع هذا الخط ، فى الاتجاه المبيّن بالاسهم الموجودة اعلاه . ونفرض ان الخط أ ب ، يمثل الشراع ، الذى وضع بحيث يكون مستواه منصّفا للزاوية الموجودة بين اتجاه رافدة القص واتجاه الريح . ويبيّن الشكل ١٧ ، كيفية تحليل القوى . نمثل ضغط الريح المؤثر على الشراع ، بالقوة ك ، التى تكون كما نعلم ، عمودية على الشراع . نحلل هذه القوة الى مركبتين هما ،

القوة ع العمودية على رافدة القص ، والقوة س المتجهة الى الامام على امتداد خط رافدة القص . وبما ان حركة السفينة الشراعية باتجاه القوة س ، تواجه مقاومة الماء الشديدة (تكون رافدة القص فى السفن الشراعية ، عميقة جدا) ، فان القوة ع تصبح تقريبا متعادلة تماما مع مقاومة الماء . وتبقى القوة س وحدها ، وهى كما نرى متجهة الى الامام . وبالتالى ، فانها تحرك السفينة الشراعية بزاوية حادة ، كما لو كانت تدفعها لملاقاة الريح * . وعادة ، تحدث هذه الحركة بصورة متعرجة ، كما يبيّن الشكل ١٨ . وتسمى هذه الحركة بلغة البحارة « بمسايرة الريح » .

هل كان باستطاعة ارخميدس رفع الارض ؟

« لو وجدت نقطة ارتكاز ، لرفعت الارض ! » – هذا ما قاله العالم العبقرى ارخميدس ، الذى عاش فى العصور القديمة ، والذى يعود اليه الفضل فى الاهتداء الى قانون العتلة . ويقال بان ارخميدس كتب ذات مرة الى قريبه وصديقه هيرون قيصر سيراكوز ، يخبره بانه يستطيع استخدام العتلة لتحريك اى ثقل كان . وقد استطاع بحججه القوية ، ان يذهب بعيدا ، الى حد القول بانه « لو وجدت هناك ارض ثانية ، لانتقلت اليها وحركت ارضنا من مكانها » .

وقد كان ارخميدس يعرف بانه من الممكن رفع اى ثقل كان ، بقوة ضعيفة للغاية ، اذا استخدمنا العتلة . وكل ما يجب عمله ، هو التأثير بهذه القوة ، على ذراع العتلة الطويل جدا ، وجعل الذراع القصير يؤثر على الثقل . ولهذا السبب فقد فكر ارخميدس ، بانه عندما يضغط بيديه على ذراع العتلة الطويل للغاية ، يتمكن بذلك من رفع ثقل هائل جدا ، تساوى كتلته كتلة الكرة الارضية ** .

---

* يمكن ان نثبت بان قيمة القوة س ، تصل الى اعلى حدودها ، عندما يكون مستوى الشراع منصفا للزاوية الموجودة بين اتجاهى رافدة القص والريح .

** لايضاح المسألة ، سنقصد بعبارة « رفع الكرة الارضية » ، معنى آخر هو ان نرفع على سطح الارض ثقلا تساوى كتلته كتلة الكرة الارضية .

شكل ١٩ : « ارخميدس يرفع الارض بعتلته » صورة مستنسخة من كتاب فى الميكانيكا ، الفه فارينيون عام ١٧٨٧ .

ولكن لو كان العالم الميكانيكى العظيم ارخميدس، يعلم بوزن الكرة الارضية الهائل، لكان من المحتمل ان يمتنع عن التصريح الذى تبجح به . ولنفرض الآن ان ارخميدس وجد كلا من « الارض الثانية » ونقطة الارتكاز ، اللتين بحث عنهما . ثم نفرض بعد ذلك ، انه تمكن من صنع عتلة بالطول اللازم . والآن هل يعرف القارئ ، ما هى الفترة الزمنية التى كان ارخميدس سيرفع خلالها ذلك الثقل ، الذى تساوى كتلته كتلة الكرة الارضية ، ولو الى ارتفاع سنتمتر واحد ؟ لقد كان سيحتاج الى ما لا يقل عن ثلاثين الف بليون سنة !!

ان الفلكيين يعرفون مقدار كتلة الارض، ويعرفون ان الجسم الذى تساوى كتلته كتلة الارض ، كان سيزن فوق سطح الارض عددا من الاطنان يساوى :

٦٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ طن

اذا كان باستطاعة الانسان ان يرفع ثقلا قدره ٦٠ كجم مباشرة، فانه لاجل ان يرفع الارض ، يجب ان يضغط بيديه على ذراع العتلة الطويل للغاية ، الذى يكون اطول من الذراع القصير بعدد من المرات يساوي :

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ مرة !

ويمكن للقارئ ان يعرف بحساب بسيط، انه فى الوقت الذى يكون فيه طرف الذراع القصير ، قد ارتفع بمقدار ١ سم ، يكون الطرف الثانى قد رسم فى الفضاء الكونى قوسا هائلا يبلغ طوله :

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ كم

لقد كان يتحتم على يد ارخميدس، التى تمسك بطرف العتلة ، ان تقطع مثل هذا الطريق الذى لا يمكن تصور طوله ، لكى تستطيع رفع الارض الى ارتفاع ١ سم فقط ! ما هو الوقت اللازم للقيام بهذا العمل ؟ اذا اعتبرنا ان ارخميدس كان قادرا على رفع ثقل قدره ٦٠ كجم ، الى ارتفاع ١ م فى ثانية واحدة (وهذا الشغل يساوى قدرة حصان واحد تقريبا) ، فانه لاجل ان يرفع الارض الى ارتفاع ١ سم ، كان سيحتاج الى زمن قدره :

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ثانية

او الى ثلاثين الف بليون سنة ! اى لم يكن باستطاعة ارخميدس، حتى لو ضغط على طرف العتلة طوال سنى حياته الطويلة ، ان يرفع الكرة الارضية ولا قيد شعرة واحدة .

ولما استطاع هذا المخترع العظيم مهما استخدم من حيل، ان يقلل من تلك الفترة الزمنية بمقدار يذكر . وتنّص « القاعدة الذهبية للميكانيا » ، بان الربح الميكانيكى، الناتج عن استخدام اية آلة ، لا بد وان يصاحبة فقدان فى مقدار الازاحة ، اى فقدان فى الوقت ، وحتى لو كان باستطاعة ارخميدس ان يحرك يده باعظم سرعة معروفة فى

الطبيعة — وهي سرعة الضوء ، التي تبلغ ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية ، فانه حتى في هذه الحالة ، ما كان بمقدوره ان يرفع الارض الى اكثر من ١ سم ، بعد عمل متواصل لحقبة طويلة من الزمن ، تقدر بعشرة ملايين سنة .

بطل جول فيرن وصيغة اويلر

يتحدث جول فيرن في احدى قصصه الخيالية عن رجل قوي يدعى ماتيفو ، كان يتصف بما يلي : « له رأس ضخم يتناسب مع قامته العملاقة ، وصدر يشبه منفاخ الحداد ، ورجلان تشبه كل منهما جذع الشجرة الجيد ، ويدان شبيهتان بمرفاعين . اما قبضتاه فكانتا مثل مطرقتين حديديتين ... »

وقد جاء في احدى القصص الخيالية التي تتحدث عن الأعمال الخارقة لهذا البطل القوي ، انه تمكن ذات مرة من ايقاف السفينة الكبيرة « ترابا كولو » ومنعها من الحركة بقوة يديه الجبارتين . واليكم ما جاء في تلك القصة عن هذا العمل الخارق :

« لقد كانت السفينة محررة من جميع المساند الجانبية ، وهي معدة لا نزالها الى الماء . ولم يبق سوى قصّ حبل الارساء لتبدأ السفينة بعد ذلك بالانزلاق على الماء . وقد تابع المتفرجون هذه العملية باهتمام بالغ . وفي هذه اللحظة ظهر بالقرب من الشاطئ ، يخت للنزهة . ولكي يدخل اليخت الى الميناء ، كان عليه ان يمر من امام الترسانة ، التي اعدت فيها السفينة للانزال . وحالما اعطى اليخت اشارة ، اضطر العمال الى تأجيل انزال السفينة « ترابا كولو » ، الى ان ينتهي مرور اليخت في القنال ، ذلك لتجنب جميع الطوارئ الممكن حدوثها لانه لو حدث ان اصطدمت السفينة باليخت ، لغرق الاخير في الحال — لان الاصطدام سيتم بصورة عمودية ، بين سفينتين ، احداهما واقفة والاخرى تتحرك بسرعة كبيرة . وتوقف العمال عن العمل ، وصوّبت جميع الانظار نحو السفينة الرشيقة ، التي كانت اشرعتها البيضاء تلمع كالذهب تحت اشعة الشمس المائلة ولما اقترب اليخت من الترسانة واصبح امامها تماما ، تسمر جميع الناس في اماكنهم . وانطلقت فجأة صيحة رهيبة ، اذ اهتزت السفينة « ترابا كولو » واخذت تنزلق ،

فى نفس اللحظة التى اصبحت فيها ميمنة اليخت مقابل السفينة تماما .واصبح الاصطدام بينهما وشيكا ، ولم يكن هناك متسع من الوقت ، او اية امكانية لتلافى الاصطدام . وانزلقت « ترابا كولو » بسرعة الى الاسفل ، وتصاعد الدخان الابيض الناجم عن الاحتكاك امام مقدمتها ، فى الوقت الذى انغمرت فيه مؤخرتها فى ماء الخليج (كانت مؤخرة السفينة عند الانزال متجهة نحو الماء) .

وفجأة ، يظهر رجل ، ويمسك بحبل الارساء المتدلى عند مقدمة السفينة ، ويحاول ايقافها بانحنائه نحو الارض . وفى دقيقة واحدة اخذ يلف حبل الارساء على ماسورة حديدية مثبتة فى الارض ، ودون ان يبالى بالخطر المحيق به ، امسك الحبل بيديه بقوة خارقة ، لمدة عشر ثوان . وكانت هذه الثوانى العشر ، كافية لتلافى الكارثة ، ونزلت السفينة الى الماء وكان اصطدامها باليخت خفيفا جدا ، واستمرت بعد ذلك فى سيرها الى الامام . وهكذا انقذ اليخت من الغرق . اما الرجل الذى قام بهذا العمل ، ولم يهرع احد لمساعدته — لان الحادثة مرت بسرعة ولم تكن متوقعة — فكان يدعى ماتيفو » . لقد كان جول فيرن سيصاب بدهشة بالغة ، اذا قيل له حينئذ ، بان الانسان لم يكن مطلقا بحاجة الى قوة خارقة للقيام بذلك العمل الباهر ، كقوة ماتيفو العملاق ، التى تشبه « قوة النمر » .

ويتضح من علم الميكانيكا ، بانه عند انزلاق الحبل الملفوف على ركيزة اسطوانية ، تصل قوة الاحتكاك الى قيمة كبيرة . وكلما زاد عدد لفات الحبل ، زاد الاحتكاك ايضا . وينص قانون زيادة الاحتكاك ، على انه بزيادة عدد اللفات بالتوالى الحسابى ، يزداد الاحتكاك بالتوالى الهندسى . ولهذا السبب ، حتى الطفل الصغير يستطيع ان يعادل بقوته الضعيفة ، قوة كبيرة ، عندما يمسك بالطرف الحر لحبل ملفوف على عمود ثابت ، اذا كان عدد اللفات يتراوح بين ٣ و ٤ مثلا .

وبهذه الطريقة ، حتى الفتيان يستطيعون ، ايقاف البواخر التى تقترب من ارصفة الملاحة النهرية ، وهى محملة بمئات الركاب . ولا يعود الفضل فى ذلك الى قوة عضلاتهم الخارقة ، ولكن الى الاحتكاك الموجود بين الحبل والوتد .

وقد وضع العالم الرياضي الشهير اويلر – الذى عاش فى القرن الثامن عشر – ، صيغة تعبر عن العلاقة بين قوة الاحتكاك وعدد لفات الحبل حول الوتد . ونقدم فيما يلى صيغة اويلر ، لاولئك الذين لا تخيفهم لغة المعادلات الجبرية الجافة :

$$ق = ق' هـ^{ك\alpha}$$

حيث ق – القوة التى نحاول التغلب عليها بالجهد العضلى ، ق' – الجهد العضلى هـ – اساس اللوغاريتمات الطبيعية ، ويساوى ٢٫٧١٨ ، ك – معامل الاحتكاك بين الحبل والوتد ، α – زاوية اللف ، اى نسبة طول القوس الذى يشغله الحبل ، الى نصف قطر ذلك القوس .

والآن نطبق هذه الصيغة ، على تلك الحادثة ، التى وصفها جول فيرن فى قصته الخيالية عن ماتيفو . ان النتيجة التى سنحصل عليها ، مدهشة للغاية .

ان القوة ق فى هذه الحالة ، تمثل قوة سحب السفينة المنزلقة الى الماء . ووزن السفينة كما جاء فى القصة ، يساوى ٥٠ طنا . ولنفرض ان ميل المنزلق يساوى $\frac{١}{١٠}$ ، وفى هذه الحالة يكون الوزن المؤثر على الحبل عشر الوزن الكلى للسفينة ، لا الوزن الكلى باجمعه . اى ٥ اطنان ، او ٥٠٠٠ كجم . وسنعتبر ان قيمة ك – معامل الاحتكاك بين الحبل والماسورة الحديدية – تساوى $\frac{١}{٣}$. ويمكن بسهولة ، تعيين مقدار الزاوية α ، اذا اعتبرنا ان ماتيفو قام بلف الحبل حول الماسورة الحديدية ، ثلاث مرات فقط . عندئذ يكون لدينا :

$$\alpha = \frac{٣ \times ٢ ط نق}{نق} = ٦ ط$$

وبعد تعويض هذه القيم فى صيغة اويلر المذكورة اعلاه ، نحصل على المعادلة التالية :

$$٥٠٠٠ = ق'(٢٫٧٢)^{٦ط \times \frac{١}{٣}} = ق'(٢٫٧٢)^{٢ط}$$

وباستخدام اللوغاريتمات ، يمكننا ايجاد قيمة المجهول قَ (اى مقدار القوة العضلية اللازمة) :

لو ٥٠٠٠ = لو قَ + ٢ ط لو ٢,٧٢

ومنها ينتج ان :

قَ = ٩,٣ كجم .

وهكذا ، فان العملاق لم يكن بحاجة الى اكثر من شد الحبل بقوة ١٠ كجم فقط ، للقيام بذلك العمل الباهر !

وعلى القارئ ، الا يظن بان هذا الرقم — ١٠ كجم — صحيح من الناحية النظرية فقط واننا نحتاج فى الواقع الى قوة اكبر من ذلك بكثير . ان العكس هو الصحيح ، لان النتيجة التى توصلنا اليها نظريا ، مبالغ فيها بعض الشئ : عندما يكون الحبل مصنوعا من القنب ، والوتد من الخشب ، تزداد قيمة معامل الاحتكاك ك ، ويقل مقدار الجهد العضلى اللازم ، الى ان يصبح ضئيلا جدا . وبمجرد ان يكون الحبل قويا ، ويمكنه تحمل الشد يستطيع عندئذ حتى الطفل الصغير ان يلف الحبل ثلاث او اربع لفات ، ويقوم بعمل باهر ، لا يضاهى عمل ماتيفو فحسب ، بل يفوقه عظمة .

على اى شىء تعتمد متانة العقد ؟

غالبا ما نقوم فى حياتنا اليومية ، باستخلاص الفوائد من صيغة اويلر ، دون ان ننتبه الى ذلك . واخيرا ما هى العقدة ، ان لم تكن قطعة حبل ملفوفة حول عمود صغير ، يحل محله فى هذه الحالة ، قسم آخر من نفس قطعة الحبل بالذات ؟ ! ان متانة كافة انواع العقد — العادية ، والتى يستخدمها البحارة وغيرها — تعتمد بصورة خاصة على الاحتكاك ، الذى يزداد كثيرا فى هذه الحالة ، بسبب التفاف الرباط حول نفسه ، كما يلتف الحبل حول الوتد (الماسورة) . وليس من الصعب التحقق من ذلك ، بتتبع

انثناءات الحبل (الرباط) فى العقدة . وكلما ازداد عدد الانثناءات ، وعدد مرات التفاف الحبل حول نفسه ، تزداد بذلك « زاوية اللف » ، وبالتالى ، تصبح العقدة اكثر متانة .
ويستخدم الخياط بدون تعمّد ، نفس القاعدة المذكورة عندما يقوم بخياطة الازرار . فهو يلف الخيط عدة مرات حول قطعة القماش المحصورة بالقطبة — الغرزة — ثم يقطعه ، فاذا كان الخيط قويا ، فان الزر سيدوم طويلا ولا ينفصل . وهنا نستخدم قاعدة معروفة لدينا وهى : بزيادة عدد لفات الخيط بالتوالى الحسابى ، تزداد متانة الخياطة بالتوالى الهندسى . واذا لم يكن الاحتكاك موجودا ، لما استطعنا استخدام الازرار ، لان وزن الخيوط فى هذه الحالة ، يؤدى الى انفكاكها والى انفصال الازرار .

لولا وجود الاحتكاك !

لقد رأينا كيفية ظهور الاحتكاك فى الظروف المحيطة بنا ، باشكال مختلفة وبصورة فجائية فى بعض الاحيان . وللاحتكاك دور محسوس جدا فى بعض الحالات ، مع اننا نشك حتى بوجوده فيها . ولو فرضنا بان الاحتكاك اختفى من العالم فجأة ، لتغير حدوث كثير من الظواهر الطبيعية ، تغيرا تاما .
ويصف الفيزيائى الفرنسى هيلوم ، دور الاحتكاك وصفا جيدا بقوله : « اعتقد ان كل من سار على الغطاء الجليدى ، الذى يتكون على الارض شتاء ، يتذكر الجهود الكبيرة التى بذلها ليتجنب السقوط ، ويتذكر كذلك الحركات المضحكة الكثيرة ، التى قام بها للمحافظة على توازنه ! وهذا يجعلنا نعترف بان للارض التى نسير عليها ، خاصية مهمة ، يعود اليها الفضل فى تمكننا من المحافظة على توازننا ، بدون ان نبذل جهودا خاصة . ونفكر بنفس المسألة ، عندما نسير بدراجتنا العادية على طريق زلق ، او عندما نرى حصانا يتزلق على الاسفلت ثم يسقط . وبدراسة مثل هذه الظواهر ، نتوصل الى معرفة تلك النتائج التى يؤدى اليها الاحتكاك . ويحاول المهندسون بقدر امكانهم ، التخلص من الاحتكاك الذى ينشأ فى المكنات . انهم حسنا يفعلون . وفى علم الميكانيكا التطبيقية ، يعتبر الاحتكاك شيئا غير مرغوب فيه للغاية ، وهذا صحيح — ولكن فى مجال خاص

وضّيق . اما فى بقية الحالات الاخرى ، فان الاحتكاك يلعب دورا حيويا ، حيث يمكننا من المشى والجلوس والعمل ، دون ان نخشى من سقوط الكتب والمحبرة على الارض ، او من زحف المنضدة مالم تحشر فى الزاوية ، او من انفلات القلم من بين الاصابع .

والاحتكاك هو ظاهرة واسعة الانتشار جدا ، بحيث لا نستطيع الاستغناء عنه ، الا فى حالات استثنائية نادرة : انه يهرع لمساعدتنا من تلقاء نفسه .

والاحتكاك يساعد على الاتزان المستقر . ان النجارين يقومون بتسوية الارضية الخشبية للغرفة ، لكى تقف المناضد والكراسى فى الاماكن التى توضع فيها . والاوانى والاطباق والاقداح ، الموضوعة على المنضدة ، تبقى ثابتة فى اماكنها دون ان نهتم بامرها ، الا اذا كانت معرضة للاهتزاز مثلا ، عند وجودها على متن الباخرة .

لنفرض ان باستطاعتنا التخلص من الاحتكاك نهائيا . عندئذ سنرى بان كافة الاجسام ــ اكانت كتلا حجرية كبيرة ، او حبّات رمل ناعمة ــ لا تستقر على بعضها مطلقا . ان كل الاجسام ستنزلق وتتدحرج ، الى ان تصبح فى مستوى واحد.ولولا وجود الاحتكاك ، لكانت الارض عبارة عن كرة ملساء ، تشبه قطرة الماء » .

ويمكننا ان نضيف الى ذلك ، بانه لولا وجود الاحتكاك ، لانفلتت المسامير من الجدران ، ولما كان باستطاعتنا ان نمسك اى شئ بايدينا ، ولما سكنت الاعاصير مطلقا ، ولما خفتت الاصوات ، بل كانت ستسمع مثل الصدى الازلى ، الذى ينعكس مثلا ، على جدران الغرفة ، دون ان يضعف .

والغطاء الجليدى المتكون على الارض ، يجعلنا نقتنع دائما بالاهمية العظيمة للاحتكاك. فعندما نسير فجأة على ذلك الغطاء الجليدى ، نجد انفسنا ضعفاء ، وفى خوف دائم من السقوط على الارض .

ونقدم للقراء فيما يلى ، مقتطفات من انباء الصحف الصادرة فى شهر كانون الاول عام ١٩٢٧ :

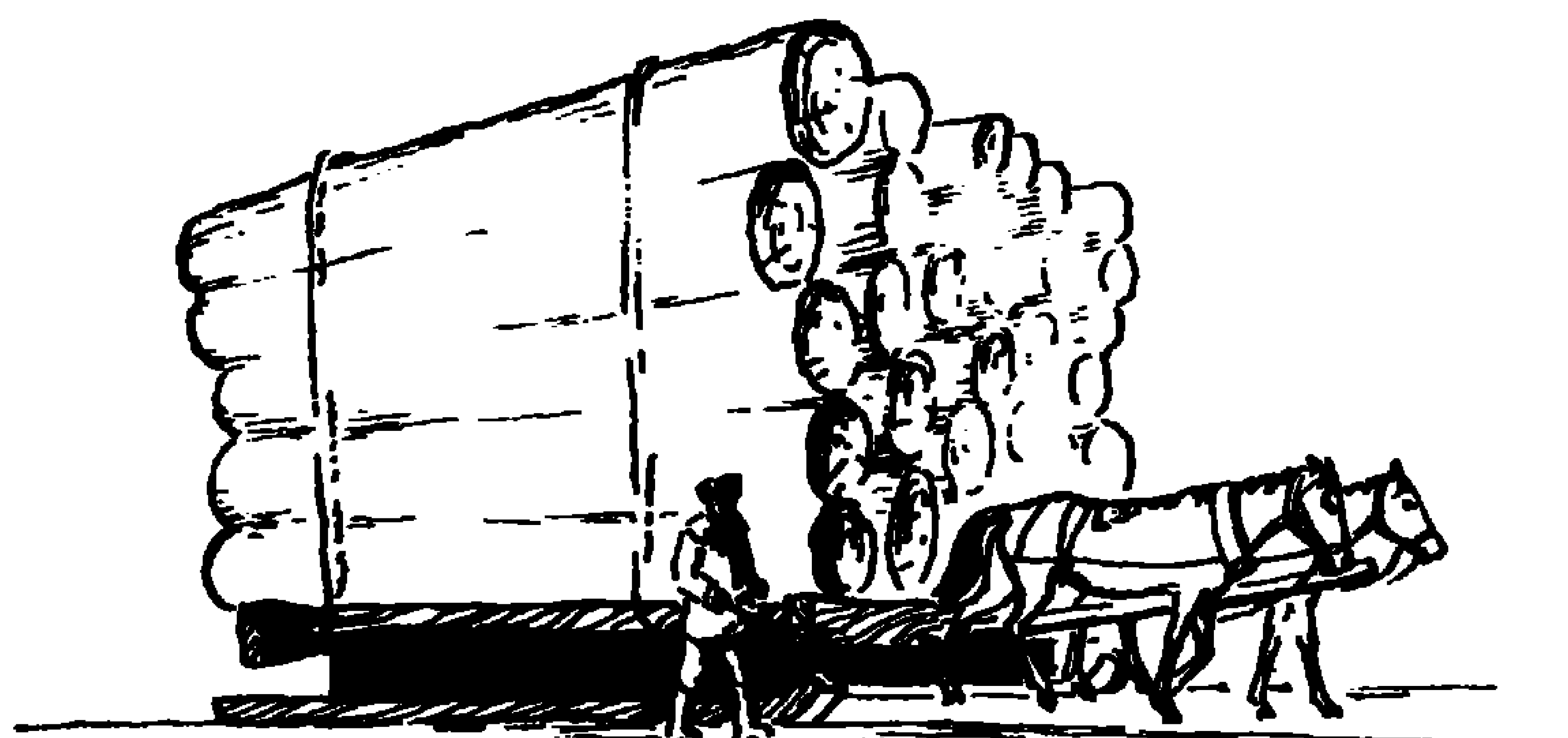
« لندن ، ٢١ كانون الاول ــ اصبحت حركة مرور السابلة والسيارات والتراموايات

صعبة جدا ،وذلك بسبب تكون غطاء جليدى صلب فى الشوارع والطرق. وقد نقل حوالى ١٤٠٠ شخص الى المستشفيات ، بسبب اصابتهم برضوض فى الايدى والارجل وغيرها » .

« لقد دمرت ثلاث سيارات ، تدميرا كاملا بعد انفجار خزانات وقودها ، اثر اصطدامها بترامين بالقرب من هايد بارك » .

« باريس ٢١ كانون الاول — لقد ادى تكون غطاء جليدى على الارض ، الى وقوع عدد كبير من الحوادث المؤلمة فى مدينة باريس وضواحيها ... » .

ولكن هذا الاحتكاك الضئيل ، الموجود على سطح الجليد ، يمكن الاستفادة منه بنجاح للاغراض التكنيكية . وما الزحافات العادية — الزلاقات — الا مثال على ذلك .



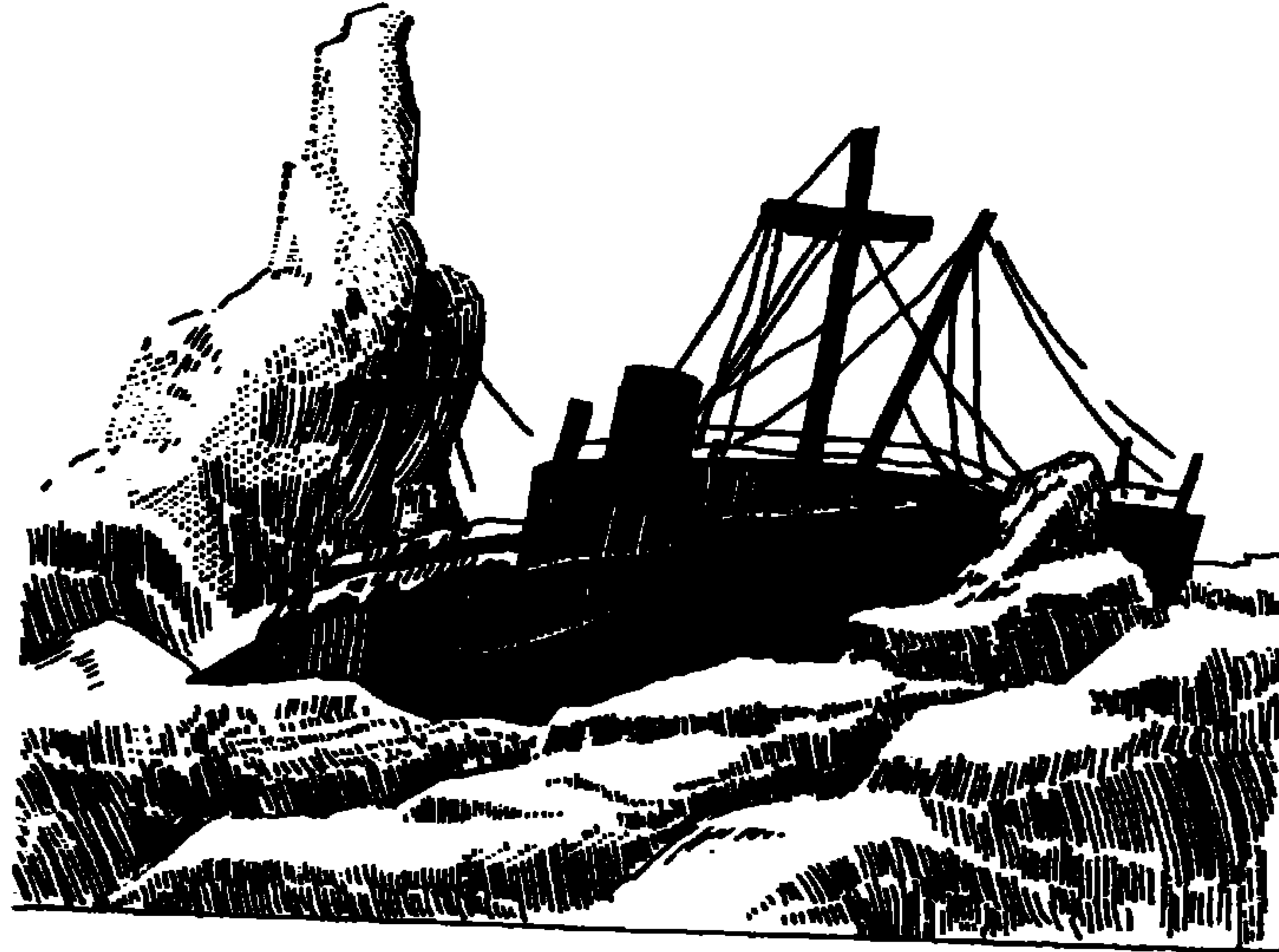


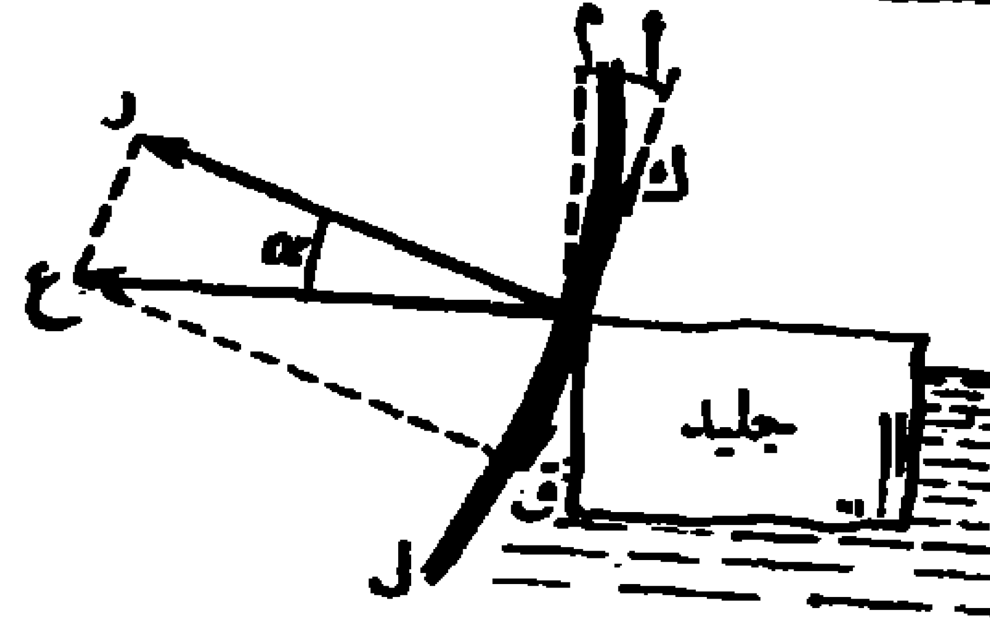
شكل ٢٠ : الرسم العلوى — زحافة محملة تسير على طريق جليدى ؛ والحصانان يجران حملا يبلغ وزنه ٧٠ طنا .
الرسم السفلى — الطريق الجليدى : أ — مسلك الزحافة ؛ ب — المزلقة ؛ حـ — جليد مترابط ؛ د — القاعدة الأرضية للطريق .

واحسن الامثلة التى تؤكد ما ذكرناه ، هى الطرق الجليدية ، المعدّة لنقل الاخشاب من اماكن قطعها الى محطات السكك الحديدية ، او الى محطات التعويم النهرية . وعلى مثل هذه الطرق (شكل ٢٠) ، التى لها سكك جليدية ملساء ، يكون باستطاعة حصانين جرّ زحافة محملة باخشاب يبلغ وزنها ٧٠ طنا .

السبب الفيزيائى لكارثة «تشيلوسكين»

يجب علينا الا نستخلص مما ذكرناه الآن ، نتيجة عاجلة ، فنقول بان الاحتكاك الذى ينشأ على سطح الجليد ، ضئيل جدا فى جميع الاحوال . لان هذا الاحتكاك ،





شكل ٢١ : الباخرة «تشيليوسكين» محصورة بين الكتل الجليدية . الرسم السفلى – القوى المؤثرة على جانب الباخرة م ل عند ضغط الجليد عليه .

كثيرا ما يكون كبيرا ، حتى عندما تكون درجة الحرارة قريبة من الصفر . ونظرا لتأمين عمل كاسحات الجليد ، فقد درس بدقة ، الاحتكاك الذى ينشأ بين جليد البحار القطبية والصفائح الفولاذية لهيكل الباخرة . وقد ظهر ان هذا الاحتكاك ، كبير الى حد غير متوقع ، ولا يقل عن الاحتكاك الناشىء بين قطعتين من الحديد : ان معامل الاحتكاك بين الصفائح الفولاذية الجديدة لهيكل الباخرة وبين الجليد يساوى ٢ر٠ .

ولكى ندرك اهمية هذا الرقم بالنسبة لكاسحات الجليد ، ندرس الشكل ٢١ ، الذى يوضح اتجاه القوى المؤثرة على جانب السفينة م ل ، عند ضغط الجليد عليه . ان قوة ضغط الجليد ع ، تحلل الى مركبتين : احداهما عمودية على جانب السفينة ، وهى ر ، والثانية مماسة له ، وهى ق . والزاوية الموجودة بين القوتين ع ور ، تساوى زاوية ميل الجانب عن الخط العمودى ، وهى زاوية α . اما قوة احتكاك الجليد مع جانب السفينة ، وهى القوة ك ، فتساوى القوة ر ، مضروبة فى معامل الاحتكاك ، اى فى العدد ٢ر٠ . وهكذا ، يكون لدينا : ك = ٢ر٠× ر . واذا كانت قوة الاحتكاك ك ، اقل من القوة ق ، فان القوة الاخيرة تسحب الجليد الضاغط الى داخل الماء ، فينزلق الجليد بمحاذاة جانب السفينة ، دون ان يصيبها باى ضرر . اما اذا كانت القوة ك اكبر من القوة ق ، فان الاحتكاك يعرقل انزلاق الكتل الجليدية ، بحيث يمكن للجليد عند استمرا ر ضغطه ، ان يسحق جانب السفينة بثقله ويخرقه .

ففى اية حالة اذن تكون ك < ق ؟ من السهل ان نجد ان: ق = ر × ظا α، ومنها نتوصل الى المتباينة المطلوبة : ك < ر × ظا α . وبما ان ك = ٢ر٠ × ر ، فان المتباينة ك < ق ، تأخذ الشكل التالى :

$$٠,٢ \times ر < ر \times ظا\ \alpha$$

او

$$ظا\ \alpha > ٠,٢$$

ونجد من الجداول الخاصة ، ان الزاوية التي يساوى ظلها ٢ر٠ ، تقدر بـ ١١° . وهذا يعني ان ك < ق، عندما تكون زاوية α > ١١°. وبهذا نستطيع تعيين ميل جوانب السفن ، الذي يؤمن سلامة اختراق السفينة للمناطق الجليدية ، وهذا الميل يجب الا يقل عن ١١° .

نعود الآن الى مسألة غرق الباخرة « تشيلوسكين » . ان هذه الباخرة التي لم تكن من كاسحات الجليد ، اجتازت الممر البحرى الشمالى كله بنجاح ولكنها انحصرت في الجليد في مضيق بيرينج .

ودفع الجليد الباخرة بعيدا نحو الشمال ، ثم حطمها في شهر شباط عام ١٩٣٤ . ويتذكر الجميع فترة بقاء بحارة « تشيلوسكين » فوق الجليد العائم ، التي دامت شهرين ، وكيف تم انقاذهم من قبل الطيارين الابطال ، الذين كانوا اول من حصلوا على لقب « بطل الاتحاد السوفييتي » . ونقدم الى القراء فيما يلي ، وصفا لتلك الكارثة :

« قال رئيس البعثة شميدت في اذاعة له بالراديو : ان المعدن القوى لهيكل الباخرة لم يتحطم في الحال . وكنا نرى كيف كانت الكتل الجليدية تضغط على جانب الباخرة ، وكيف كانت الالواح المعدنية للهيكل تبرز بتقوس الى الخارج . واستمر ضغط الجليد بصورة بطيئة ، ولكنها لم تكن لتقاوم . وانفجرت الالواح المعدنية المتقوسة ، من مواضع خطوط الالتحام — الدرز ، وتطايرت قطع البرشام مصحوبة بفرقعة عالية . وفي لحظة واحدة ، كان الجانب الايسر للباخرة قد انشق ، ابتداء من مقدمة الباخرة حتى مؤخرتها ... » .

وبعد كل ما ذكرناه بخصوص هذه الكارثة ، يجب على القارئ ان يعرف السبب الفيزيائي ، الذي ادى الى وقوعها .

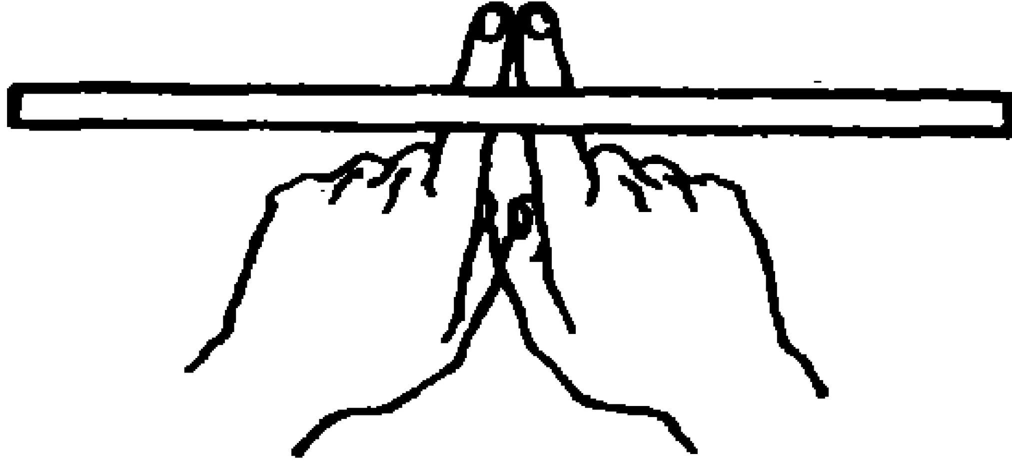
ونخرج من ذلك بنتيجة عملية ، وهي : عند بناء السفن — البواخر — المعدة للملاحة في المناطق الجليدية ، يجب ان يكون ميل جوانبها مناسبا ، بحيث لا يقل عن ١١° في كافة الحالات .

عصا ذاتية الاتزان

ضع عصا ملساء على سبابتى يديك المتباعدتين، كما هو مبين فى الشكل ٢٢ . والآن قرب سبابتيك من بعضهما ، حتى تصبحا متلاصقتين . وهنا سترى شيئا غريبا . اذ تحافظ العصا على اتزانها ولا تسقط على الارض . وباستطاعتك ان تعيد التجربة عدة مرات ، مع تغيير الوضع الابتدائى للسبابتين ، ولكنك ستحصل على نفس النتيجة ، حيث تبقى العصا متزنة . واذا استبدلنا هذه العصا بمسطرة او عكاز او مكنسة او عصا البليارد ، لحدث نفس الشئ .

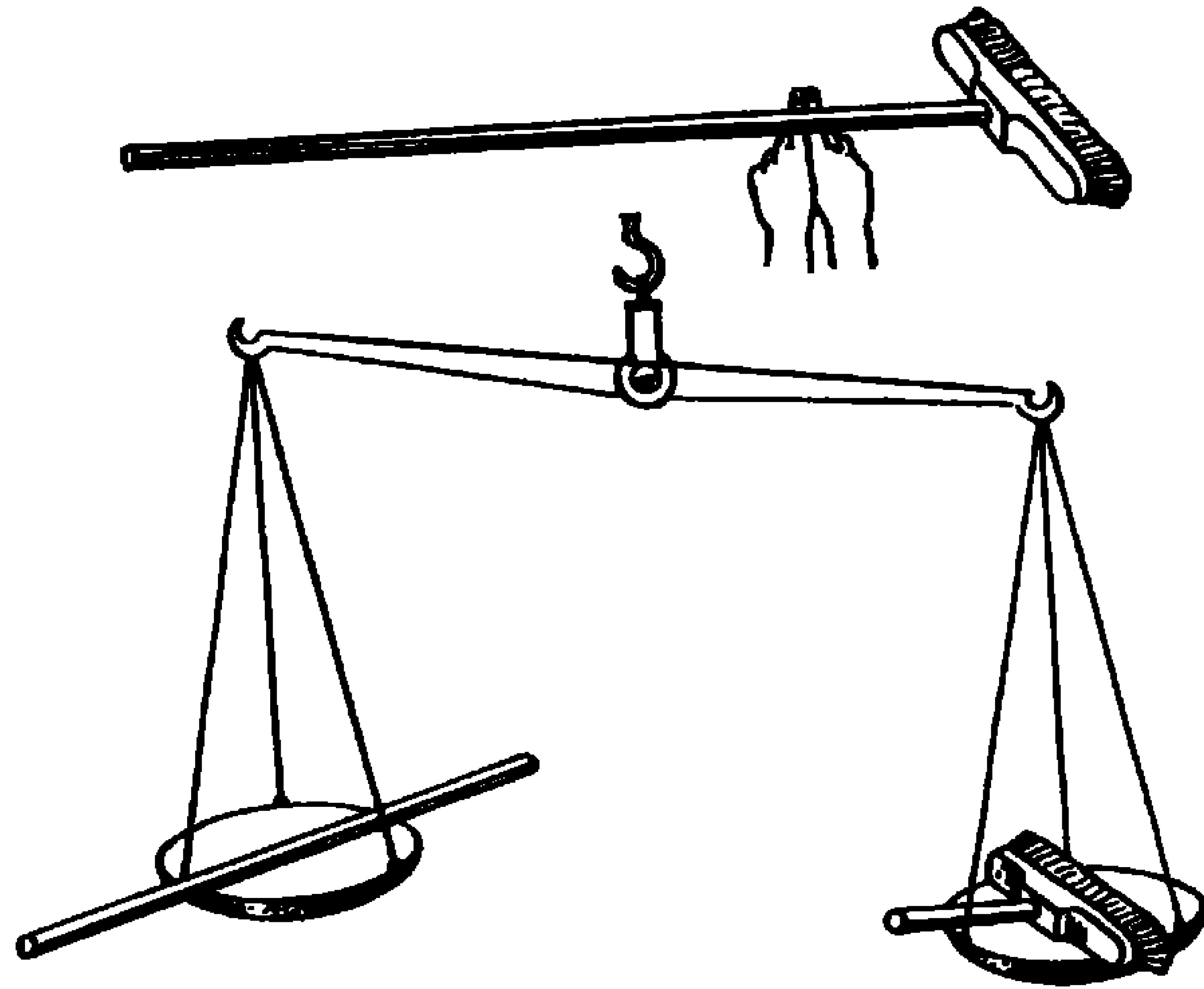
ما هو سر هذه النتيجة غير المتوقعة ؟

من الواضح قبل كل شئ، انه طالما كانت العصا متوازنة وهى محمولة على السبابتين المتلاصقتين ، فلا بد وان تكونا واقعتين تحت مركز ثقل العصا مباشرة (يبقى الجسم فى حالة توازن ، اذا كان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، يمرّ بمساحة قاعدته) . وعند ابتعاد السبابتين عن بعضهما ، فان السبابة الواقعة بالقرب من مركز ثقل العصا ، تتحمل ثقلا اكبر مما تتحمله السبابة البعيدة عنه . وبزيادة الضغط ، يزداد الاحتكاك . لذا ، فان السبابة القريبة من مركز الثقل ، تكون اكثر احتكاكا بالعصا من السبابة البعيدة عنه . ولهذا السبب ، فان السبابة القريبة من مركز الثقل ، لا تنزلق تحت العصا ، انما تتحرك دائما السبابة البعيدة عن تلك النقطة فقط وحالما تصبح السبابة المتحركة ، اقرب الى مركز الثقل من السبابة الاخرى ، يتم تبادل الادوار بين السبابتين ، ويتكرر حدوث هذا





شكل ٢٢ : اجراء التجربة باستخدام المسطرة . الرسم العلوى – نهاية التجربة .



شكل ٢٣ : اجراء نفس التجربة السابقة باستخدام المكنسة . لماذا لا تتزن كفتا الميزان ؟

التبادل عدة مرات ، الى ان تتلاصق السبابتان . ولما كانت السبابة التى تتحرك دائما ، هى السبابة البعيدة عن مركز الثقل بالذات ، يكون من الطبيعى فى نهاية العملية ، ان تلتقى السبابتان تحت مركز ثقل العصا .

وقبل ان تترك هذه التجربة، اعدها مرة اخرى باستخدام المكنسة، كما هو مبين فى الشكل ٢٣ ، الى الاعلى .

والآن اطرح على نفسك السؤال التالى : اذا قطعنا المكنسة من موضع استنادها الى السبابتين ، ووضعنا كلا القسمين فى كفتى ميزان (شكل ٢٣ ، الى الاسفل) ، فاى الكفتين سترجح — الكفة التى وضعت فيها عصا المكنسة ، ام الكفة التى وضعت فيها فرشة المكنسة ؟

وقد يفكر البعض بأنه طالما كان قسما المكنسة متوازنين على السبابتين، فلا بد وان يتوازنا عند وضعهما فى كفتى الميزان . ولكن فى الحقيقة ، تكون الكفة الراجحة ، هى الكفة التى وضعت فيها فرشة المكنسة . وليس من الصعب معرفة السبب ، اذا تذكرنا بانه عند توازن المكنسة على السبابتين ، كانت القوتان الناتجتان عن وزنى القسمين

المذكورين ، تؤثران على ذراعى العتلة ، غير المتساويين فى الطول . اما عند وضع القسمين فى كفتى الميزان ، فان القوتين المذكورتين اصبحتا تؤثران على طرفى عتلة متساوية الذراعين .

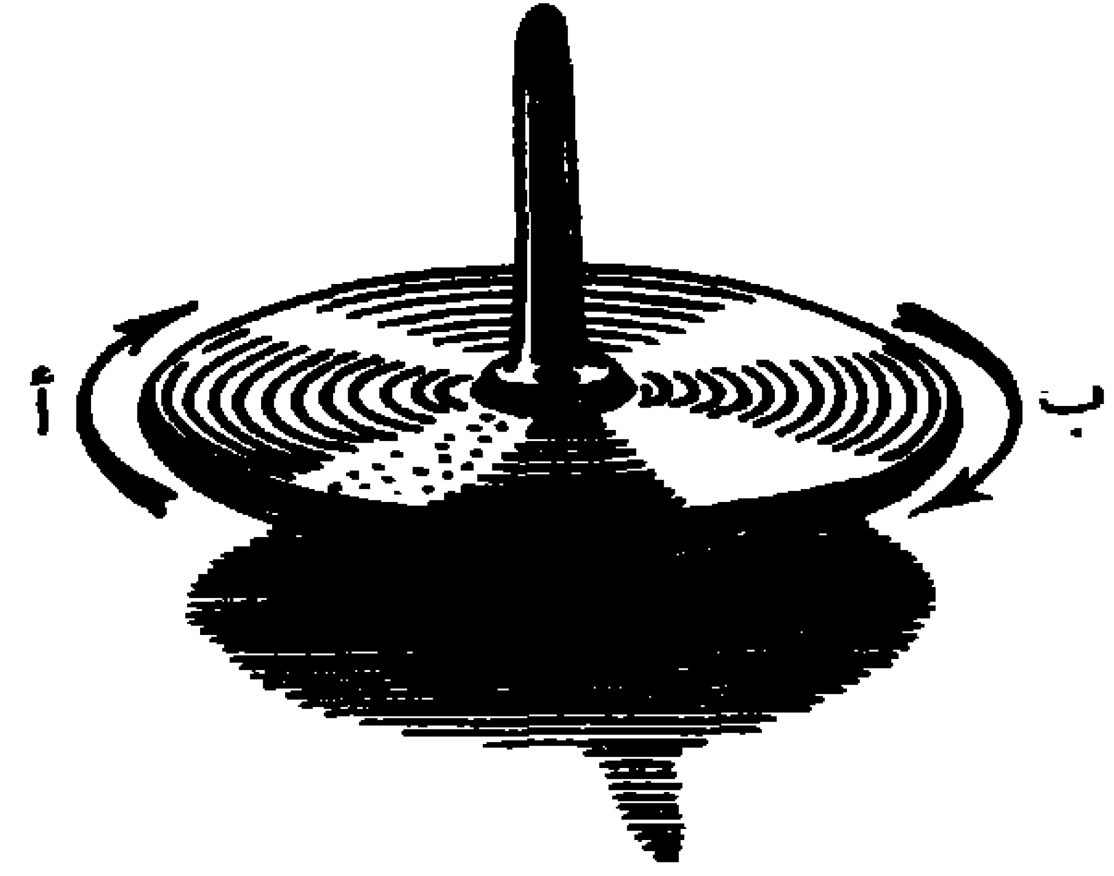
وقد اوصيت بصنع مجموعة من العصى، تقع مراكز ثقلها فى مواضع مختلفة ، وذلك لعرضها فى « جناح العلوم المسلية » الذى اقيم فى حديقة الثقافة فى لينينجراد . وكان بالامكان فكّ كل عصا الى قسمين غير متساويين عادة ، من الموضع الذى يقع فيه مركز الثقل بالضبط . وعندما كان زوار الجناح المذكور ، يضعون تلك الاقسام المختلفة فى الميزان ، كانوا يندهشون عندما يرون بامّ اعينهم ، ان القسم القصير من العصا ، اثقل من القسم الطويل .

الفصل الثالث | الحركة الدورانية

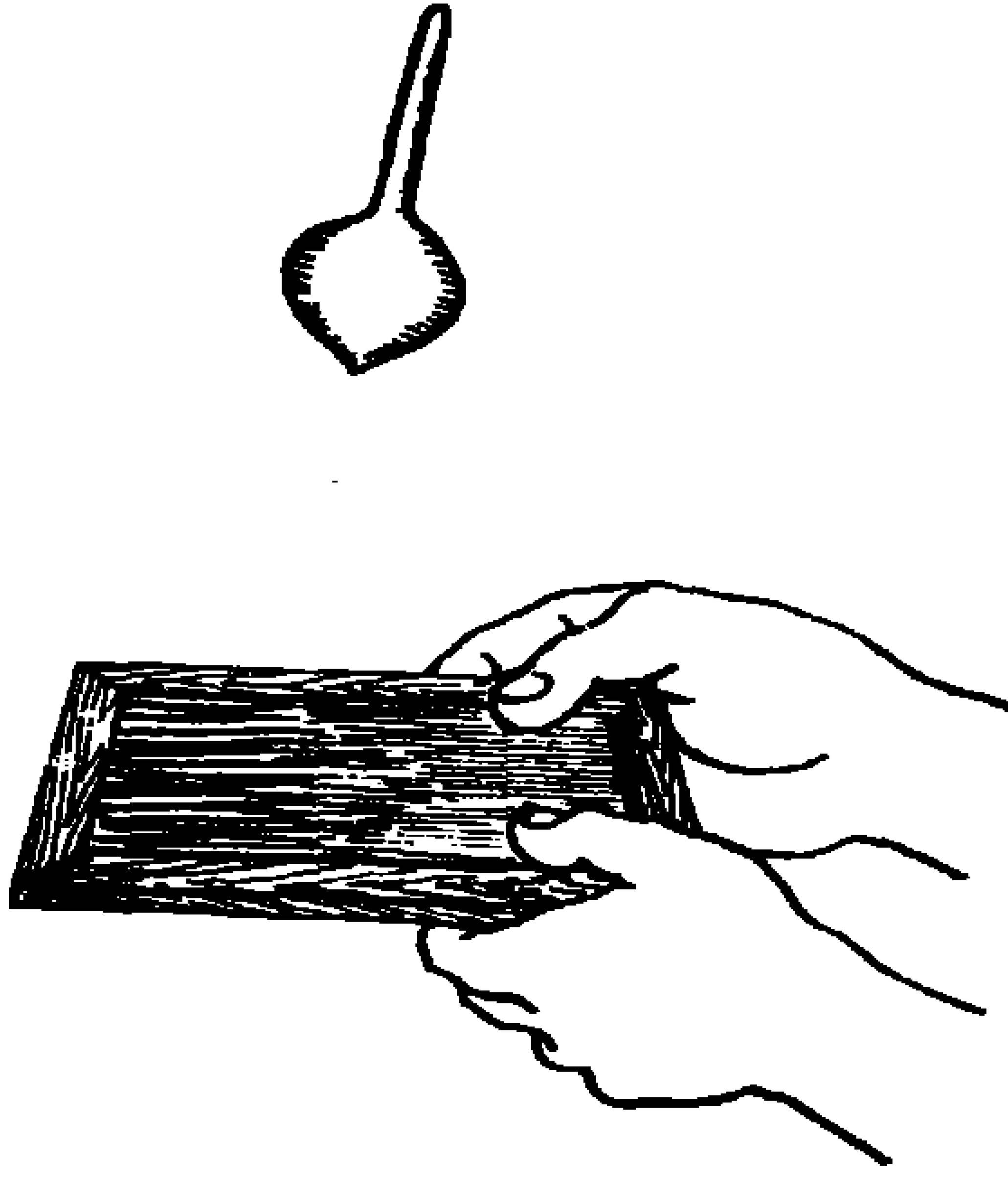
لماذا لا تسقط الدوامة عند دورانها ؟

من بين الا ف الاشخاص الذين زاولوا في طفولتهم لعبة الدوامة ، لا يوجد الا عدد قليل يمكنه الاجابة على السؤال المذكور ، بصورة صحيحة . كيف يمكننا في الحقيقة ان نفسر عدم سقوط الدوامة الدائرة ، الموضوعة على الارض بصورة عمودية او حتى مائلة ، بالرغم مما يتوقعه الجميع ؟ ما هي القوة التي تجعل الدوامة تحافظ على هذه الوضعية ، التي تبدو في الظاهر حرجة ؟ هل ان هذه الدوامة الدائرة ، لا تتأثر بالجاذبية الارضية ؟ ان الفعل المتبادل للقوى ، يلعب هنا دورا مدهشا للغاية .

ان النظرية الخاصة بدوران الدوامة ، ليست بسيطة ، ولذا سوف لا نتعمق في شرحها ، بل سنشير فقط ، الى السبب الرئيسي ، الذي يرجع اليه الفضل في عدم سقوط الدوامة الدائرة . ويبيّن الشكل ٢٤ ، دوامة تدور في اتجاه السهمين الواضحين . لنمعن النظر في القسم أ من قرص الدوامة ، وفي القسم ب ، المقابل له . ان القسم أ يحاول الحركة مبتعدا عن القارئ ، بينما يتحرك القسم ب في اتجاه القارئ . والآن ، لنتتبّع حركة هذين القسمين ، عندما نجعل محور الدوامة يميل نحونا . عندما نقوم بذلك ، فاننا بهذه الدفعة الخفيفة ، نجعل القسم أ يتحرك الى الاعلى ، والقسم ب الى الاسفل ، وتكون الدفعة قد اثرت على القسمين المذكورين بصورة عمودية على حركتهما الذاتية . وبما ان السرعة المحيطية لاقسام القرص عند تدوير الدوامة بسرعة ، تصبح كبيرة جدا ، فان السرعة القليلة التي اكتسبتها الدوامة نتيجة للدفعة تضاف الى السرعة المحيطية الكبيرة للنقطة ، وبذلك تكون المحصلة الناتجة ، قريبة جدا من السرعة المحيطية —



شكل ٢٤ : لماذا لا تسقط الدوامة ؟



شكل ٢٥ : ان الدوامة الدوارة ، المرمية الى الاعلى ، تحافظ على الاتجاه الابتدائي لمحورها .

حيث لا تتغير حركة الدوامة تقريبا . ويتضح من ذلك ، سبب مقاومة الدوامة ، للقوة التي تحاول ان تطرحها على الارض . وكلما كانت كتلة الدوامة كبيرة وسرعتها عالية ، كلما كانت مقاومتها للانطراح اشد .

ان حقيقة هذا التفسير ، تتعلق بقانون القصور الذاتي مباشرة . ان كل نقطة من نقاط الدوامة ، تتحرك على محيط دائرى ، في مستوى عمودى على محور الدوران . وحسب قانون القصور الذاتي ، فان النقطة ، تحاول في كل لحظة ، الخروج من مدارها الدائرى ، الى الخط المستقيم ، المماس له . ولكن بما ان كل مماس يقع في نفس المستوى ، الذى يقع فيه المدار الدائرى ، فان كل نقطة ستحاول الحركة بحيث تبقى دائما في المستوى العمودى على محور الدوران .

ومن هنا ، ينتج ان كافة مستويات الدوامة ، العمودية على محور الدوران ، ستحاول المحافظة على اوضاعها في الفراغ . ولهذا ، فان العمود المشترك على تلك المستويات ، اى محور الدوران بالذات ، سيحاول هو الآخر المحافظة على اتجاهه .

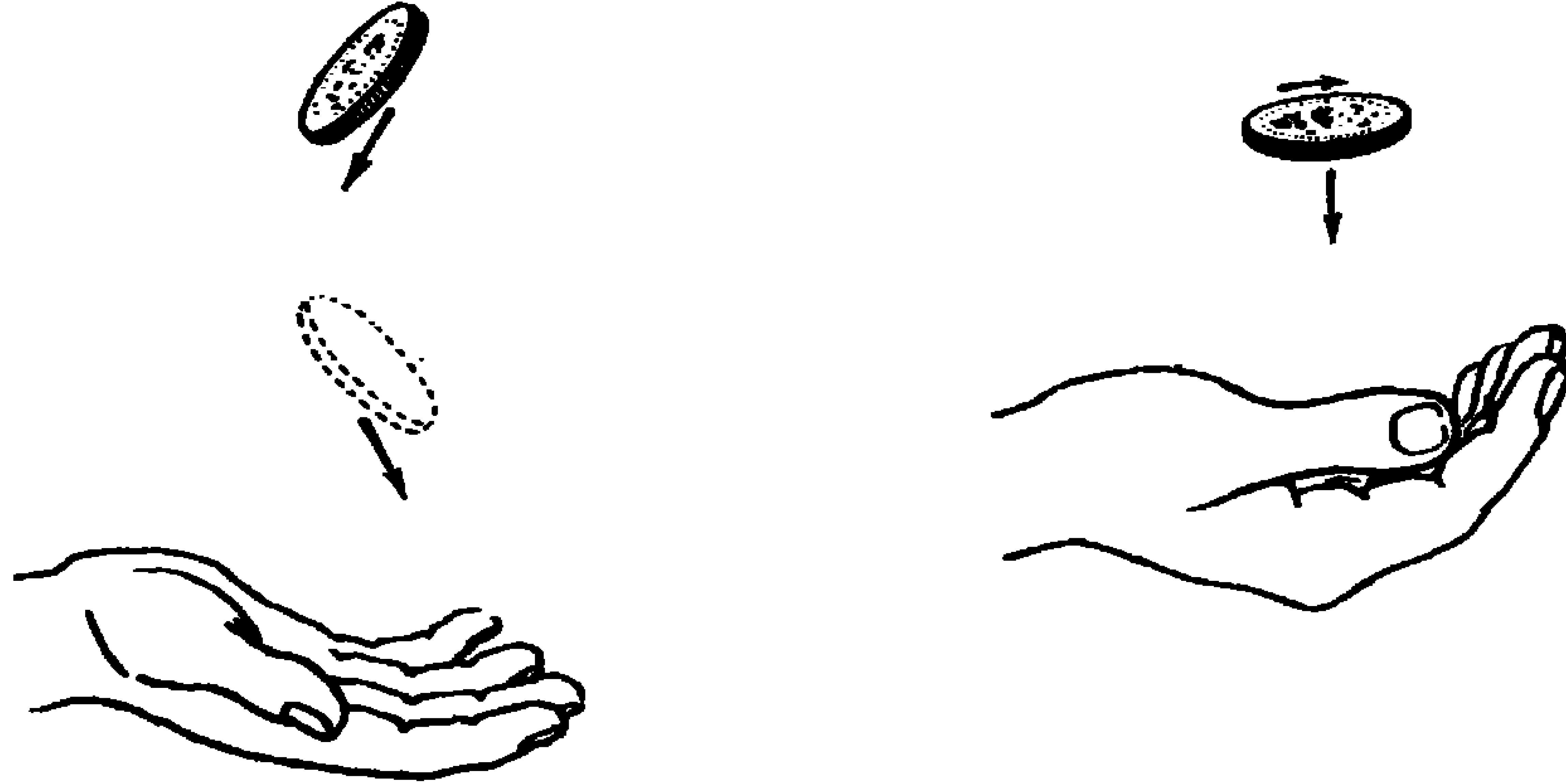
وسوف لا نبحث هنا كافة حركات الدوامة ، التي تحدث عندما تؤثر عليها قوة

خارجية . لان ذلك يتطلب شرحا وافيا جدا ، ربما يكون مملا بالنسبة للقارئ . لقد اردت ان ابيّن هنا ، سبب محاولة كافة الاجسام الدائرة ، المحافظة على الوضعية الثابتة لمحور الدوران .

وقد استفاد خبراء التكنيك الحديث ، من هذه الخاصية ، فائدة واسعة النطاق . وهناك انواع من الاجهزة الجيروسكوبية ، المبنية على اساس حركة الدوامة — كالبوصلة والموازن وغيرهما — تستخدم فى البواخر والطائرات الحديثة . ان الحركة الدورانية ، تجعل القذائف والرصاصات ، ثابتة على خط معين اثناء انطلاقها فى الجو ، ويمكن كذلك الاستفادة من الحركة الدورانية لضمان استقرار انطلاق القذائف الكونية — الاقمار الصناعية والصواريخ . هذه بعض الفوائد ، التى امكن استخلاصها من الدوامة ، التى لا تزيد فى الظاهر ، عن كونها لعبة للاطفال .

اللعب بخفة اليد

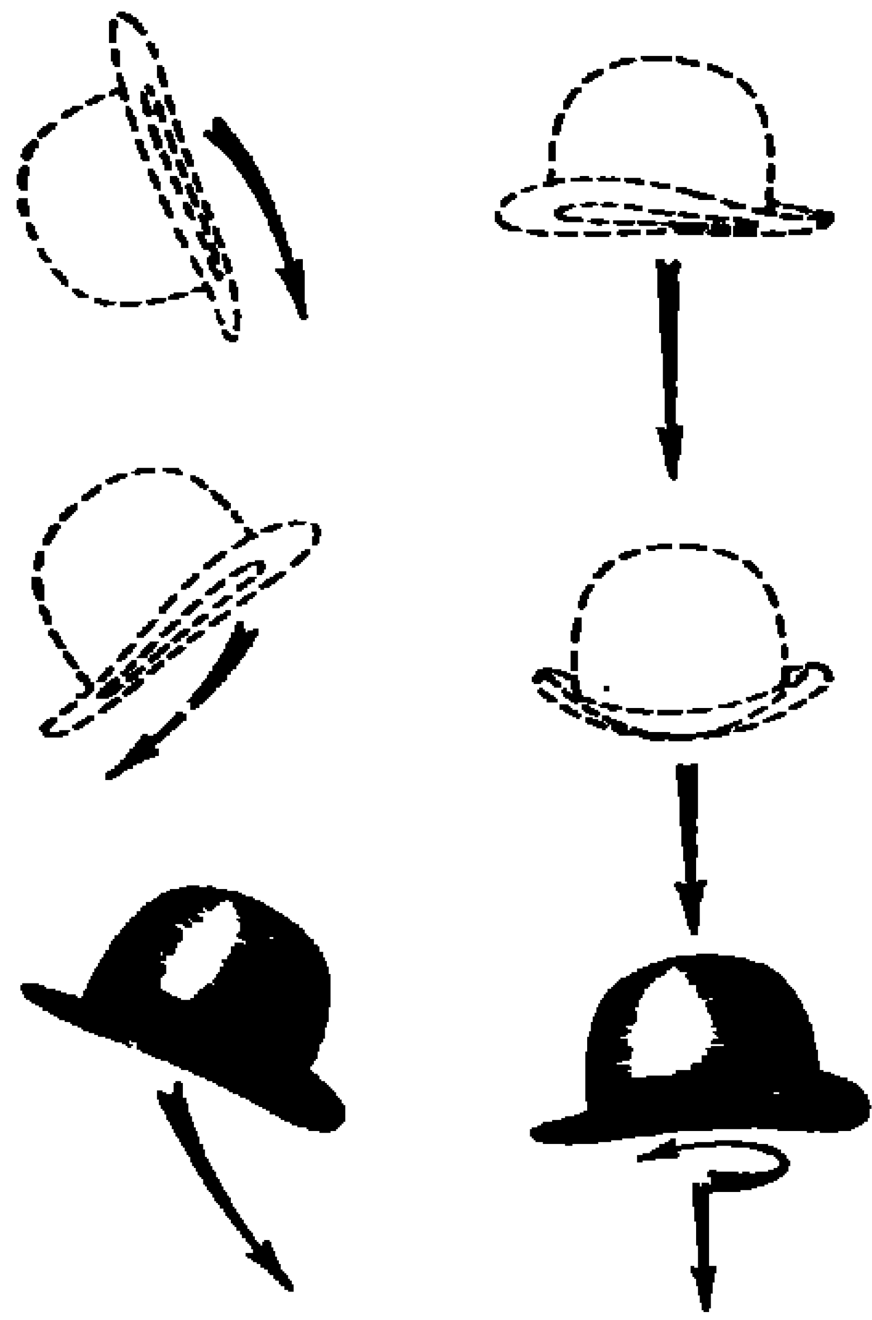
ان الكثير من الملاعيب المدهشة المختلفة ، التى يقدمها الحاوى على خشبة المسرح ، مبنى على خاصية محافظة الاجسام الدائرة على اتجاه محور دورانها . والآن ، اقدم للقراء



شكل ٢٦ : كيفية طيران قطعة النقود المرمية الى الاعلى مع دورانها فى نفس الوقت

شكل ٢٧ : ان قطعة النقود المرمية الى الاعلى بدون دوران ، تسقط الى الاسفل كيفما اتفق .

نبذة مقتطفة من الكتاب الشيق ، الذى وضعه العالم الفيزيائى الانكليزى البروفيسور جون بيرى ، وعنوانه « الدوامة » .



شكل ٢٨ : يصبح من الاسهل على الشخص ان يتلقى القبعة المرمية الى الاعلى ، اذا قام بتدويرها اثناء رميها.

« قمت ذات مرة بعرض بعض تجاربى الخاصة بالحركة الدورانية ، امام الجماهير التى كانت تحتسى القهوة وتدخن التبغ فى قاعة رائعة للموسيقى ، هى قاعة « فكتوريا » فى لندن . وقد بذلت قصارى جهدى لاثارة اهتمام المستمعين ، وقلت بانه اذا اردنا ان نرمى قرصا مسطحا ، بحيث نستطيع تعيين مكان سقوطه سلفا ، فيجب ان نجعل القرص يدور اثناء حركته . ونقوم بنفس العمل بالضبط ، اذا اردنا ان نرمى قبّعة الى احد الاشخاص ، بحيث يستطيع ان يتلقفها بعصاه . ويمكن الاعتماد دائما على المقاومة ، التى يبديها الجسم الدائر ، ضد تغيير اتجاه محور دورانه . وبعد ذلك اوضحت للمستمعين ، بانه عندما تكون سبطانة المدفع صقيلة من الداخل ، لا يمكن ان نتوقع اصابة الهدف بدقة بتاتا . ونتيجة لذلك ، تستحدث فى الوقت الحاضر ، اخاديد حلزونية على الجدران الداخلية لسبطانة المدفع ، لكى تدخل فيها نتوّات القنبلة او القذيفة ، بحيث تكتسب كل منهما حركة دورانية ، عندما تمر فى السبطانة اثناء انطلاقها . وبفضل ذلك ، تخرج القذيفة من فوهة المدفع وقد اكتسبت حركة دورانية معينة بدقة . كان هذا كل ما استطعت ان اقدمه خلال تلك المحاضرة ، لاننى لست حاذقا فى رمى القبعات او الاقراص . ولكن بعد ان انتهيت من محاضرتى ، ظهر حاويان على خشبة المسرح وعرضا العابهما امام الحاضرين . ولم ار فى حياتى وسيلة عملية لايضاح القوانين التى شرحتها فى محاضرتى ، احسن من الوسيلة التى لجأ اليها الحاويان ، بعرض ملاعيبهما . لقد كانا يتبادلان فيما بينهما ، رمى القبعات والاطواق والصحون والمظلات ، التى كانت جميعها تدور اثناء

حركتها . وكان احد الحاويين يقذف عددا من السكاكين فى الهواء ، ثم يتلقفها ويقذفها مرة ثانية الى الاعلى بدقة كبيرة . اما الجماهير التى استمعت الى محاضرتى قبل ذلك بدقائق معدودة ، فقد بدا عليها شعور الرضا والانشراح ، عندما كانت تتابع العاب الحاوى، وتلاحظ دوران كل سكين يقذفها من يده الى الهواء،بطريقة تجعله يعرف باية وضعية، ستعود السكين الى يده مرة ثانية . وقد اصابتني الدهشة عندئذ ، لان كافة الملاعيب ، التى عرضت فى تلك الاثناء ، كانت بمثابة وسائل ايضاح للقانون المذكور اعلاه » .

حل جديد لمسألة كولومبس

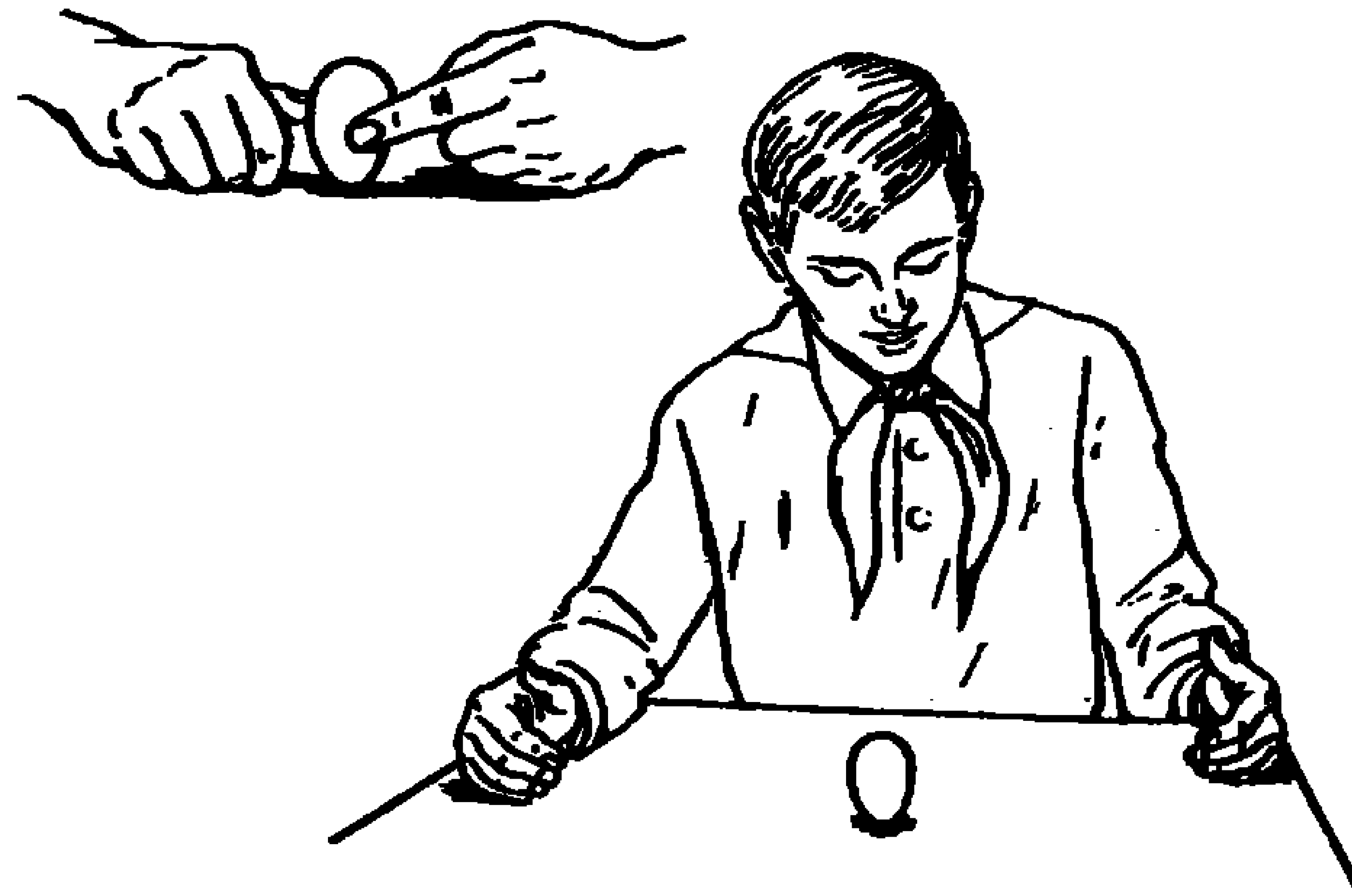
لقد حل كولومبس ببساطة ، مسألته الشهيرة وهى : ان يجعل البيضة تقف منتصبة على احد طرفيها ، وذلك عندما كسر قشرتها فى ذلك الموضع * .

وهذا الحل فى الحقيقة غير صحيح . وذلك لان كولومبس عندما كسر قشرة البيضة ، غيّر بذلك شكلها ، اى ان المسألة لم تعد متعلقة بالبيضة ، ولكن بجسم آخر . لان لشكل البيضة اهمية جوهرية فى هذه المسألة . وبتغيير شكل البيضة ، نكون قد استبدلناها بجسم آخر .

ونقول بهذه المناسبة ، انه يمكن حل المسألة السابقة ، بدون ان نغيّر شكل البيضة مطلقا ، اذا استخدمنا خاصيّة الدوامة . وكل ما نحتاجه للقيام بذلك ، هو تدوير البيضة حول محورها الطويل — عندئذ ستقف البيضة منتصبة على طرفها العريض ، او حتى على طرفها الحاد ، دون ان تنقلب على الارض . ويبيّن الشكل ٢٩ كيفية القيام

---

* وبهذه المناسبة ، تجدر الاشارة الى ان قصة كولومبس والبيضة ، ليس لها اساس تاريخى . ان الشائعات وحدها ، هى التى نسبت هذه المسألة الى البحار الشهير كولومبس ، مع انها تعود الى رجل آخر عاش قبله بزمن طويل ، وكان القصد منها يختلف تماما عن قصد كولومبس — وذلك الرجل هو المعمارى الايطالى برونيللشى (١٣٧٧ — ١٤٤٦) ، الذى بنى قبة كاتدرائية فلورنسا ، وقال : « ان قبتى ستبقى ثابتة فى محلها بامان ، كما تقف هذه البيضة بثبات على احد طرفيها » .



شكل ٢٩ : حل مسألة كولمبوس : ان البيضة تدور وهى منتصبة على احد طرفيها .

بهذه العملية ، وذلك بتدوير البيضة باصابع اليد . وعندما نرفع ايدينا ، نرى ان البيضة تستمر فى دورانها وهى منتصبة على طرفها ، لفترة معينة من الزمن . وبهذا نكون قد توصلنا الى حل المسألة .

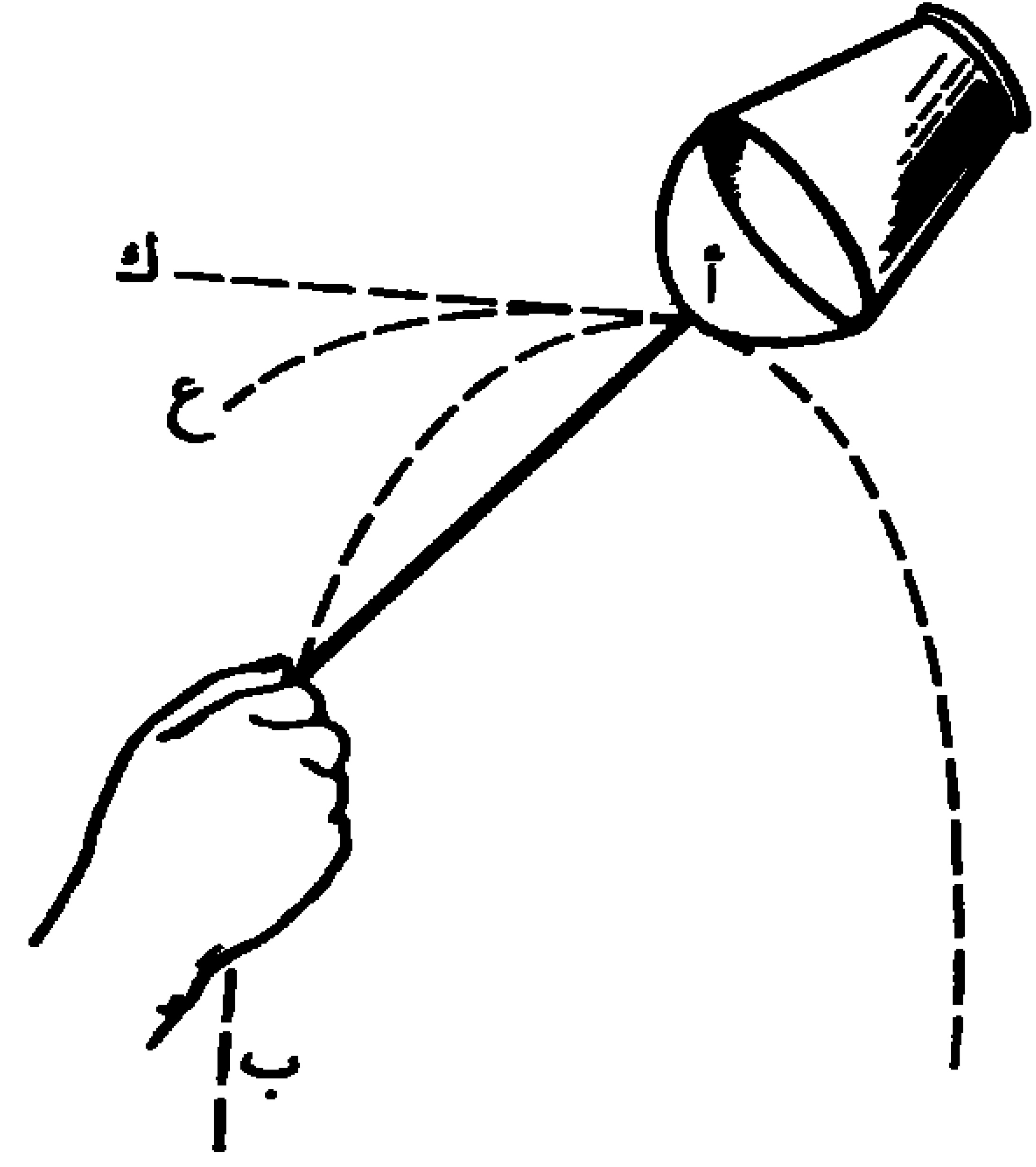
ولاجراء هذه التجربة ، يجب استخدام بيضة مسلوقة حتما . وهذا التحديد لا يتعارض مع ظروف مسألة كولومبس . لانه عندما قام بتلك العملية ، كان قد تناول بيضة موضوعة على مائدة الطعام ، الامر الذى يرجح انها كانت مسلوقة ايضا .

ومن الصعب جدا ان نجعل البيضة النيئة تدور وهى منتصبة على طرفها ، لان السوائل الموجودة فى داخلها ، تعمل فى هذه الحالة ، على فرملة الحركة الدورانية . وهذا اساس الطريقة ، التى نستطيع بواسطتها تمييز البيضة المسلوقة من البيضة النيئة ، وهى الطريقة التى تعرفها كثيرات من ربات البيوت .

محو الجاذبية

قبل الفى سنة ، كتب العالم الاغريقى ارسطو طاليس ، ما يلى : « ان الماء لا ينسكب من اناء فى حالة دوران ، حتى عندما نجعل فوهته الى الاسفل ، وقاعدته الى

الاعلى ، لان الدوران يمنع انسكاب الماء » . وبيّن الشكل ٣٠ ، هذه التجربة المقنعة ، التي يعرفها الجميع بلا شك . اذا اخذنا سطلا فيه ماء، وربطناه بحبل ثم بدأنا بتدويره بسرعة كبيرة ، كما هو مبيّن في الشكل السابق ذكره ، فسنرى ان الماء لا ينسكب ، حتى عندما يصبح السطل في وضعية مقلوبة تماما .



شكل ٣٠ : لماذا لا ينسكب الماء من السطل الدوار .

ان الناس عادة ، يعزون حدوث هذه الظاهرة ، الى « القوة الطاردة المركزية » ، التي يقصدون بها تلك القوة الوهمية ، التي يظنون انها تؤثر على الجسم ، وتساعده في محاولته للابتعاد عن مركز الدوران . ان هذه القوة لا وجود لها ، وما المحاولة المشار اليها هنا ، الا عملية ظهور القصور الذاتي ، وكل حركة تنتج عن القصور الذاتي ، لا تحتاج الى قوة لادامتها . وفي علم الفيزياء ، لا يقصد بالقوة الطاردة المركزية ، الا تلك القوة الحقيقية ، التي يسحب بها الجسم الدائر ، الحبل المربوط به ، او يضغط بها على مداره المنحني . وهذه القوة لا تؤثر على الجسم الدائر ، بل تؤثر على العائق الذي يمنعه من الحركة على خط مستقيم — اي انها تؤثر على الحبل او على السكة الحديدية عند اقسامها المنحنية .. وغير ذلك .

لنعد الى تجربة تدوير سطل الماء ، ولنحاول بحث سبب هذه الظاهرة ، دون اللجوء بتاتا الى مفهوم « القوة الطاردة المركزية » ، ذي المعنيين . والآن ، نطرح على انفسنا السؤال التالي : اذا احدثنا ثقبا في جدار السطل ، فالى اية جهة سيتدفق الماء ؟ لو فرضنا ان قوة الجاذبية غير موجودة ، لتدفق الماء — بالقصور الذاتي — في اتجاه الخط أك ، المماس للمحيط أب (شكل ٣٠) . ولكن قوة الجاذبية تجعله ينحني ويصبح على شكل قوس (القطع المكافيء أع) .

واذا كانت السرعة المحيطية كبيرة بما فيه الكفاية ، فان هذا القوس سيقع خارج المحيط أب . ان تيار الماء يبيّن لنا الطريق ، الذى كان سيسلكه الماء اثناء دوران السطل ، فيما اذا لم يضغط عليه السطل ويمنعه من التدفق . وهكذا يتضح لنا بان الماء لا يحاول البتة ان يتحرك الى الاسفل بصورة عمودية . ولهذا ، فانه لا ينسكب من السطل . وكان من المحتمل انسكاب الماء ، فى حالة واحدة فقط ، هى عندما تكون فوهة السطل ، متجهة فى نفس اتجاه حركته الدورانية .

والآن ، لنحسب السرعة ، التى يجب تدوير السطل بها ، بحيث لا ينسكب منه الماء . ويجب فى هذه الحالة الا يقل تسارع الجذب المركزى ، عن تسارع الجاذبية : عندئذ سوف يخرج الطريق الذى يحاول الماء ان يسلكه ، عن نطاق المحيط ، الذى يرسمه السطل بدورانه، وسوف لا يتخلف الماء عن السطل فى اية نقطة كانت. ان صيغة حساب تسارع الجذب المركزى ج ، تكون كما يلى :

$$ج = \frac{س^{٢}}{نق}$$

حيث س ــ السرعة المحيطية، نق ــ نصف قطر المدار الدائرى. ولما كان تسارع الجاذبية على سطح الارض هو حـ = ٩٫٨ م/ثا^{٢}، اذن نحصل على المتباينة التالية :

$$\frac{س^{٢}}{نق} \geqslant ٩٫٨$$

واذا فرضنا ان نق = ٧٠ سم ، نجد ان :

$$\frac{س^{٢}}{٠٫٧} \geqslant ٩٫٨$$

اى ان س $\geqslant \sqrt{٠٫٧ \times ٩٫٨}$ اذن س $\geqslant$ ٢٫٦ م/ثا

ولاجل الحصول على مثل هذه السرعة المحيطية ، يجب ان ندوّر السطل بيدنا ، دورة ونصف فى كل ثانية تقريبا ، وهذا امر يمكن القيام به بسهولة ، وسوف لا نلاقى اية صعوبة عند اجراء هذه التجربة .

ان قابلية السوائل للضغط على جدران الاناء ، الذى تدور فى داخله حول محور افقى ، تستخدم فى التكنيك الحديث للقيام بعملية الصب بالطرد المركزى . والامر الذى له اهمية جوهرية فى هذه الحالة ، هو ترسب السائل المتغاير التركيب ، على شكل طبقات حسب الوزن النوعى ، بحيث تقع المركبات الثقيلة جدا، على مسافة بعيدة من محور الدوران . اما المركبات الخفيفة ، فتكون قريبة من المحور . ونتيجة لذلك ، فان جميع الغازات الموجودة فى داخل المعدن المصهور ، والتى تخلق ما يسمى بـ « الفجوات الغازية » فى السبيكة ، تخرج من المعدن الى قناة الصب المركزية المجوفة . وتكون القطع المصنوعة بهذه الطريقة ، متينة البنيان وخالية من الفجوات الغازية . كما ان الصب بالطرد المركزى ، ارخص من الصب العادى بالضغط ، ولا يحتاج الى اجهزة معقدة .

القارىء فى دور غاليليو

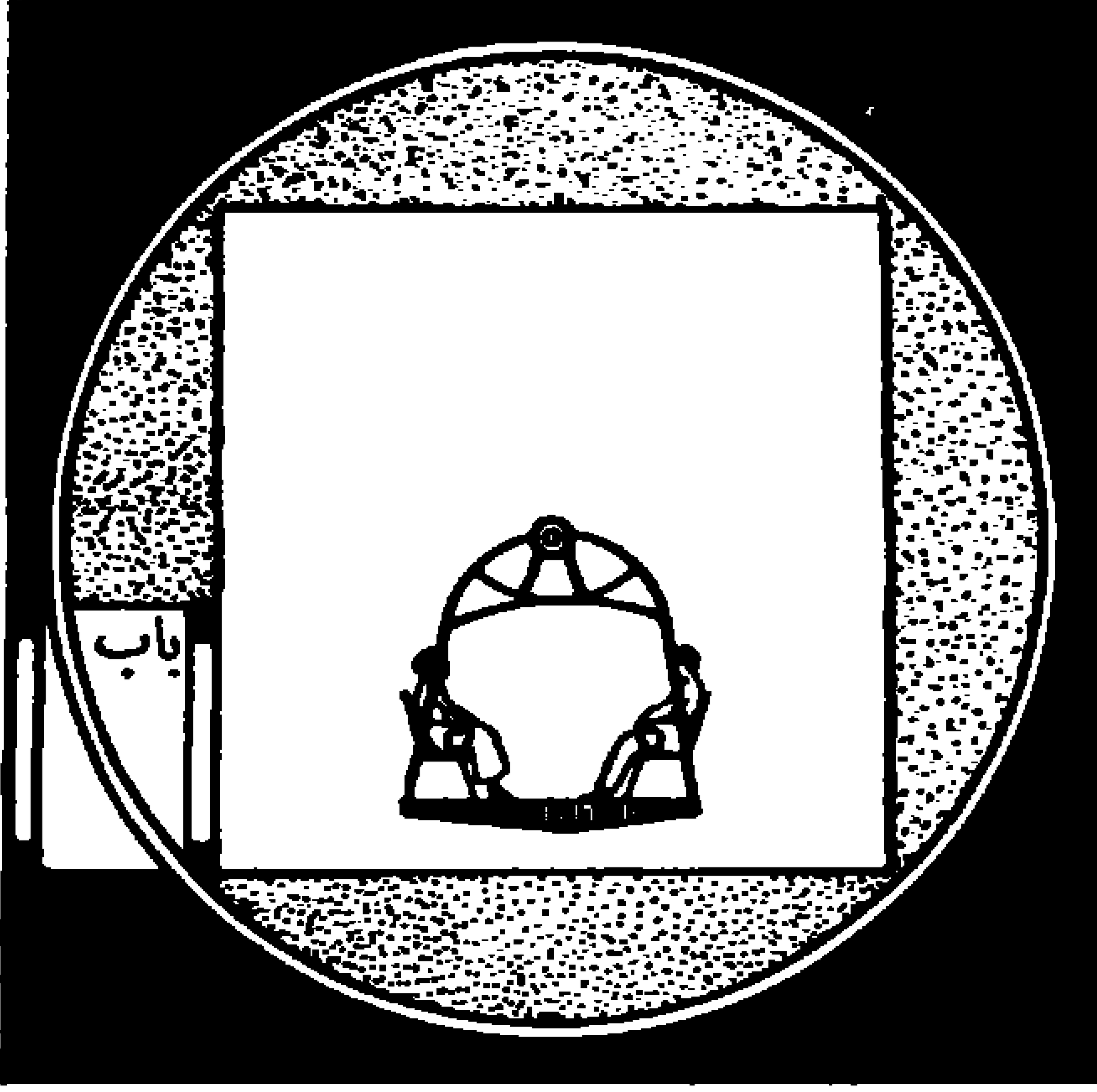
يستطيع هواة الحركات العنيفة ان يجدوا متعة من نوع خاص جدا ، فيما يسمى بـ « ارجوحة الشيطان » . اننى شخصيا لم اجرب ركوب هذه الارجوحة . لذلك ساقدم هنا وصفا لها ، مقتبسا من مجموعة العاب اللهو العلمية لفيدو :

« ان الارجوحة معلقة فى عارضة افقية قوية ، ممتدة فى فضاء الغرفة ، على ارتفاع معيّن من ارضيتها . وعندما يجلس الجميع فى محلاتهم ، يقوم العامل بقفل باب الدخول ، ويرفع اللوح الخشبى الموصل الى الباب ، ثم يعلن للحاضرين بانه سيأخذهم الآن الى رحلة جوية قصيرة ، ويبدأ بعد ذلك بأرجحة الارجوحة برفق . وبعد ان ينتهى من ذلك ، يجلس فى مؤخرة الارجوحة ، مثلما يجلس الخادم فى مؤخرة العربة ، او يخرج من القاعة نهائيا .

وفى هذه الاثناء ، تزداد قوة التأرجح ، وترتفع الارجوحة اكثر فاكثر ، حتى تصل الى مستوى العارضة ، ثم تتعداه مرتفعة الى الاعلى ، الى ان تتخذ فى نهاية الامر ، مدارا دائريا كاملا — تدور حول العارضة . وتزداد سرعة الدوران اكثر فاكثر بشكل

محسوس ، ويتملك المتأرجحين — مع ان قسما كبيرا منهم يعرف ذلك سلفا — شعور بالتأرجح والحركة السريعة ، يجعلهم يتصورون بانهم يسبحون فى الفضاء ورؤوسهم الى اسفل ؛ حتى انهم يتشبثون بمقاعدهم بصورة لا ارادية ، وذلك خوفا من السقوط .

وبعد ذلك تخفف سرعة التأرجح ، بحيث لا ترتفع الارجوحة بعد ذلك الى مستوى العارضة ، وبعد عدة ثوان ، تتوقف الارجوحة نهائيا .



شكل ٣١ : الرسم التخطيطى لتركيب « ارجوحة الشيطان » .

اما فى حقيقة الامر ، فقد كانت الارجوحة ساكنة طوال الفترة ، التى استغرقتها التجربة ، وكانت الغرفة بالذات ، هى التى تدور حول الجالسين فى الارجوحة ، بواسطة الية بسيطة جدا ، تجعل الغرفة تدور حول محور افقى . وكان الاثاث مثبتا فى ارضية القاعة او جدرانها . اما المصباح الذى بدا قابلا للتحرك وكانه لا بد ان يسقط من المنضدة فى حالة دوران الغرفة ، فانه فى الواقع ملحوم بسطح المنضدة . والعامل ، الذى بدا فى الظاهر وكأنه يؤرجح الارجوحة بدفعات خفيفة ، لم يقم بأكثر من تهيأة عقول الجالسين فى الارجوحة ، لتقبل التأرجحات الخفيفة للقاعة ، وذلك بتظاهره بدفع الارجوحة . وقد كان كل شيء معد بطريقة تساعد على خداع الجمهور بنجاح تام » .

ان سر هذه الخدعة ، بسيط جدا كما رأينا . ومع ذلك ، فلو اتيحت للقارىء — بعد ان عرف السر — فرصة ركوب « ارجوحة الشيطان » ، فانه لابد وان يصدق تلك الخدعة ، لانها مقنعة جدا .

ولو جلست فى الارجوحة المذكورة ، مع اناس لم يطلعوا على سرها ، لاصبحت عندئذ غاليليو زمانك — ولكن بصورة عكسية. ان غاليليو كان يؤكد ان الشمس والكواكب

ثابتة ، واننا ندور حولها بأنفسنا ، خلافا لما يظهر لنا ، اما انت ، فستؤكد لمن حولك ، بأنهم ثابتون فى اماكنهم ، وان الغرفة برمتها تدور من حولهم . وفى هذه الحالة ، ربما كنت ستتعرض لنفس المصير المحزن ، الذى تعرض اليه غاليليو ، ولنظر الناس اليك كما ينظرون الى الشخص الذى يتجادل حول الاشياء البديهية .

جدال مع القارىء

هل تعتقد انك تستطيع اثبات رأيك بسهولة كما تتصور ؟ لنر ذلك ! تصور انك تجلس فى « ارجوحة الشيطان » بالفعل ، وتريد اقناع الجالسين بجوارك ، بانهم على ضلال مما يشعرون . اننى ادعو القارىء الى الجدال معى حول هذا الموضوع . لنجلس معا فى « ارجوحة الشيطان » ، وننتظر اللحظة ، التى تكون فيها الارجوحة قد بدأت كما يبدو ، بالدوران التام حول مدارها الدائرى ، ثم نبدأ فى جدالنا ، لنتبيّن ما الذى يدور : الارجوحة ام الغرفة برمتها ؟ ارجو من القارىء ان يتذكر ، باننا يجب الا نغادر الارجوحة اثناء جدالنا ، وسنأخذ معنا كل الحاجيات الضرورية سلفا . والآن لنبدأ فى جدالنا :

القارىء — كيف يمكننا الا نصدق باننا لا نتحرك ، وبان الغرفة هى التى تدور من حولنا ! واذا كانت الارجوحة تنقلب رأسا على عقب بالفعل ، لما تعلقنا فى الهواء ورؤوسنا الى اسفل ، بل كنا سنسقط من الارجوحة . ولكننا كما ترى لا نسقط . اى ان الغرفة هى التى تدور ، وليست الارجوحة .

أنا — ولكن الا تتذكر بان الماء لا ينسكب من السطل ، الذى يدور بسرعة ، بالرغم من انقلاب السطل رأسا على عقب (صفحة ٦٢) وكذلك ، فان سائق الدراجة العادية ، لا يسقط عندما يدور بدراجته حول « انشوطة الشيطان » — راجع البحث المقبل على الصفحة ٧٣ — مع انه يركب الدراجة ورأسه الى اسفل .

القارىء — اذا كان الامر كذلك ، لنحسب اذن مقدار تسارع الجذب المركزى ، ونرى فيما اذا كان كافيا لمنعنا من السقوط من الارجوحة ، ام لا . وبمعرفة المسافة التى

تفصلنا عن محور الدوران ، ومعرفة عدد الدورات فى الثانية ، نستطيع بسهولة ، ان نعيّن بموجب الصيغة ...

انا — لا تتعب نفسك في الحساب . لقد اخبرنى منظموا « ارجوحة الشيطان » بان عدد الدورات سيكون كافيا تماما ، لتوضيح هذه الظاهرة ، من وجهة نظرى انا . وهكذا ، فان الحساب لن يقرر نتيجة هذا الجدال .

القارئ — ولكننى لم افقد الامل فى اقناعك . اترى كيف ان الماء لا ينسكب من هذا القدح الى الارض .. ! اعتقد انك ستعود مرة ثانية الى مسألة دوران سطل الماء . حسنا ، يوجد في يدى الآن شاقول ، وهو كما ترى متجه الى اسفل دائما — فاذا كنا ندور مع الارجوحة وكانت الغرفة ثابتة ، فلماذا لا يتجه الشاقول الى جانب تارة ، وتارة الى اعلى ، بل يتجه الى اسفل فقط ؟

انا — انك مخطئ فى هذا . لاننا اذا كنا ندور بسرعة كافية ، فان الشاقول يجب ان يبتعد عن المحور دائما ، باتجاه نصف قطر الدوران ، اى الى اسفل كما نرى .

نهاية الجدال

والآن ليسمح لى القارئ ، بتقديم نصيحة له ، تجعله ينتصر على غريمه فى هذا الجدال . يجب ان يأخذ القارئ معه ميزانا زنبركيا ، وهو فى طريقه الى « ارجوحة الشيطان » ، ويضع فى كفة هذا الميزان سنجة يبلغ وزنها ، مثلا ١ كجم ، ويتتبع حركة المؤشر . سوف يرى بان المؤشر سيقف دائما عند نفس الرقم ، الذى يقابل وزن السنجة ، اى ١ كجم . وهذا دليل على عدم حركة الارجوحة .

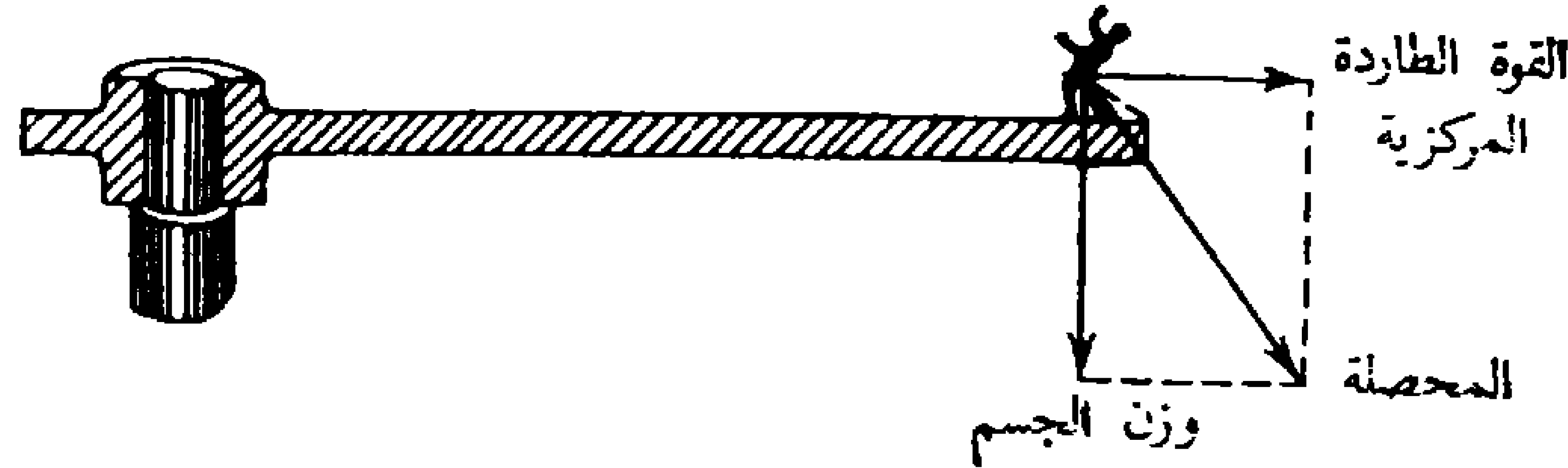
ولو كنا فى حقيقة الامر ندور مع الميزان الزنبركى حول المحور ، لأثرت على السنجة — بالاضافة الى قوة الجاذبية — قوة الطرد المركزى ، التى كانت ستزيد من وزن السنجة فى نقاط المدار السفلى ، وتقلل من وزنها فى النقاط العليا . وكنا سنلاحظ حتما ، بان السنجة ستصبح متغيرة الوزن ، فتارة تصبح اثقل مما هى عليه ، وتارة لا تزن اى شئ . وهذا يدل على ان الغرفة هى التى تدور ، ولسنا نحن .

«الكرة المسحورة»

اراد احد رجال الاعمال فى امريكا ، ان يرفه عن زوار معرضه ، فعمد الى صنع ارجوحة دوّارة على هيئة غرفة كروية . ان الناس الموجودين فى داخل هذه الغرفة ، يحسون بشعور غير طبيعى ، كالشعور الذى لا يمكن ان نحس به ، الا فى الاحلام او فى عالم القصص الخيالية .

لنتذكر فى بادىء الامر ، ما هو الشعور الذى يتملك الشخص الواقف على منصة دائرية سريعة الدوران .

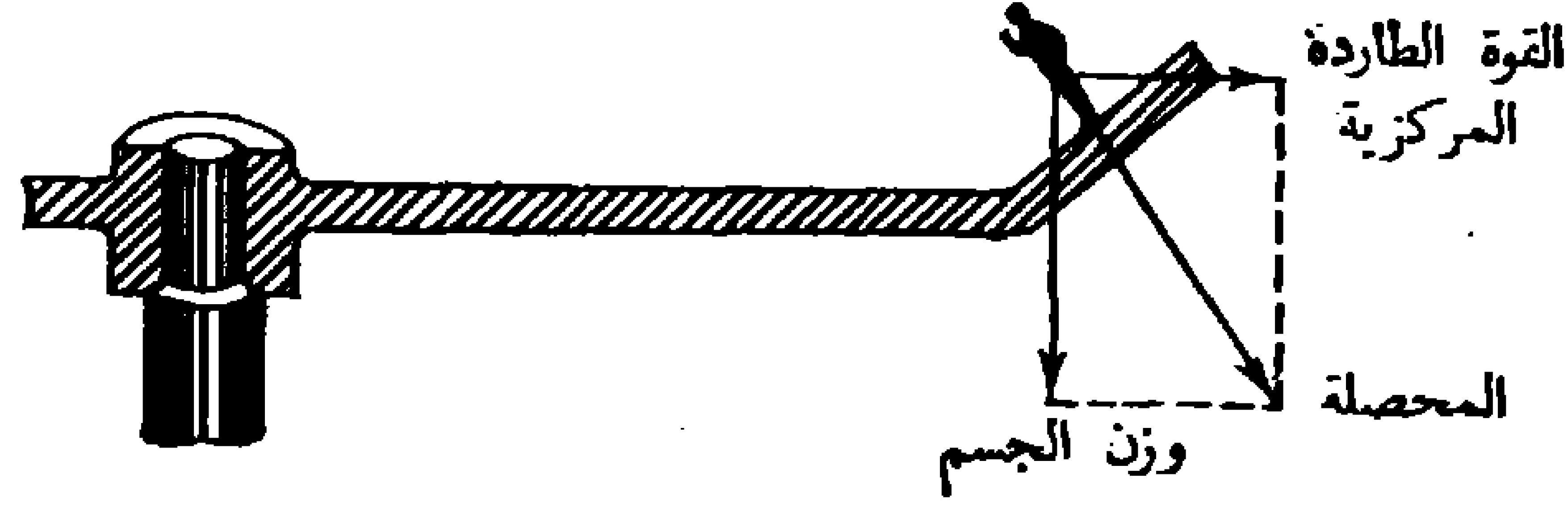
ان الحركة الدورانية تحاول طرد الشخص الى الخارج ، وكلما ابتعد الشخص عن المركز ، طرد الى الخارج بقوة اكبر . اما اذا اغمض الشخص عينيه ، فسيشعر بانه لا يقف على ارضية افقية ، بل على ارضية مائلة (منحدرة) ، تجعله يحافظ على توازنه بصعوبة . ويتضح لنا الامر ، عندما نتطرق الى بحث القوى ، التى تؤثر على جسم الانسان



شكل ٣٢ : بماذا يشعر الشخص الواقف على حافة المنصة الدوارة .

فى هذه الحالة (شكل ٣٢) . ان الدوران يؤثر على الجسم ويطرده الى الخارج . اما الجاذبية فتسحبه الى الاسفل . واذا جمعنا هاتين القوتين — بموجب قاعدة متوازى اضلاع القوى — فسنرى ان محصلتهما تتجه الى الاسفل بصورة مائلة . وبازدياد سرعة دوران المنصة ، تزداد قيمة المحصلة ويخف ميلها .

لنتصور الآن ان حافة المنصة المذكورة ، منحنية الى الاعلى ، وان احد الاشخاص يقف على هذا الجزء المنحنى المائل (شكل ٣٣) . وعندما تكون المنصة ساكنة ، لا يستطيع ذلك الشخص الوقوف فى محله ، لانه سيزحف منحدرا الى الاسفل ، او بالاحرى

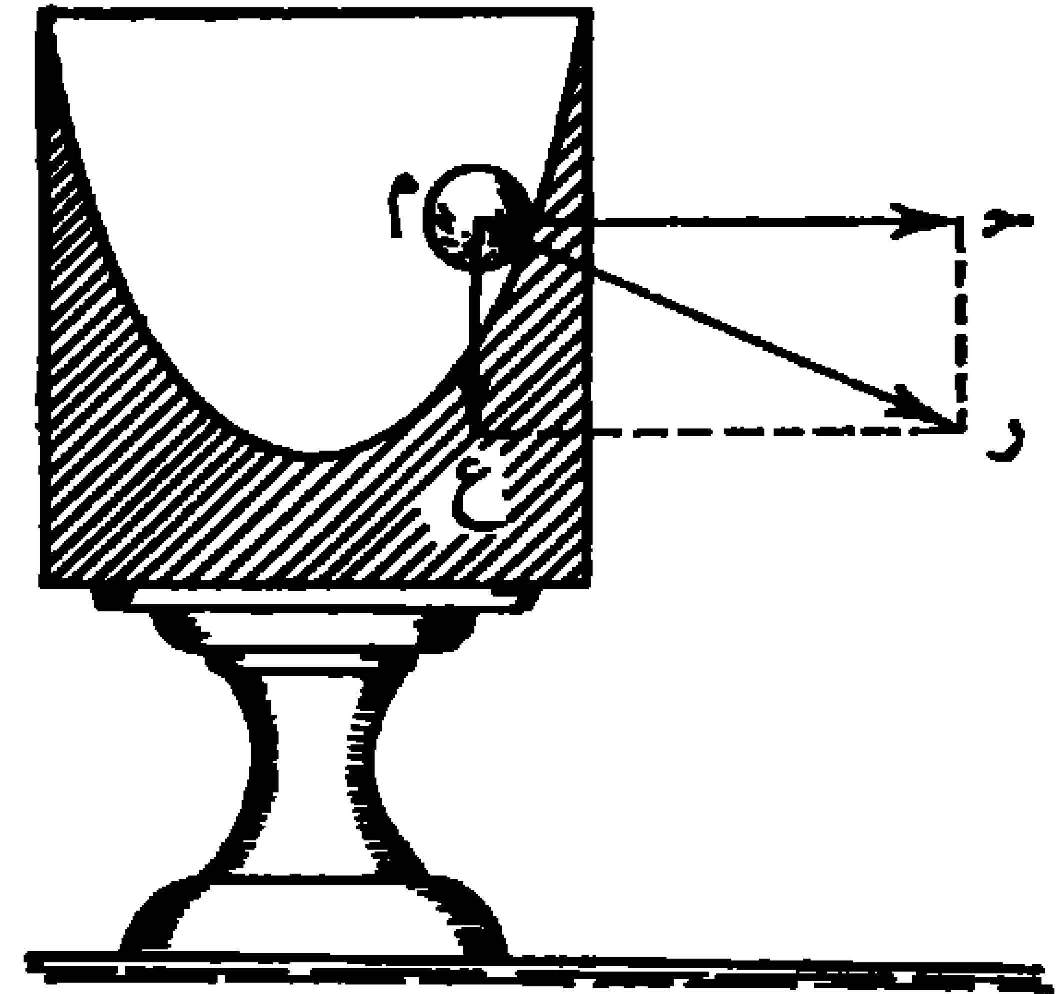


شكل ٣٣ : ان الشخص يقف بثبات على الحافة المائلة للمنصة الدوارة .

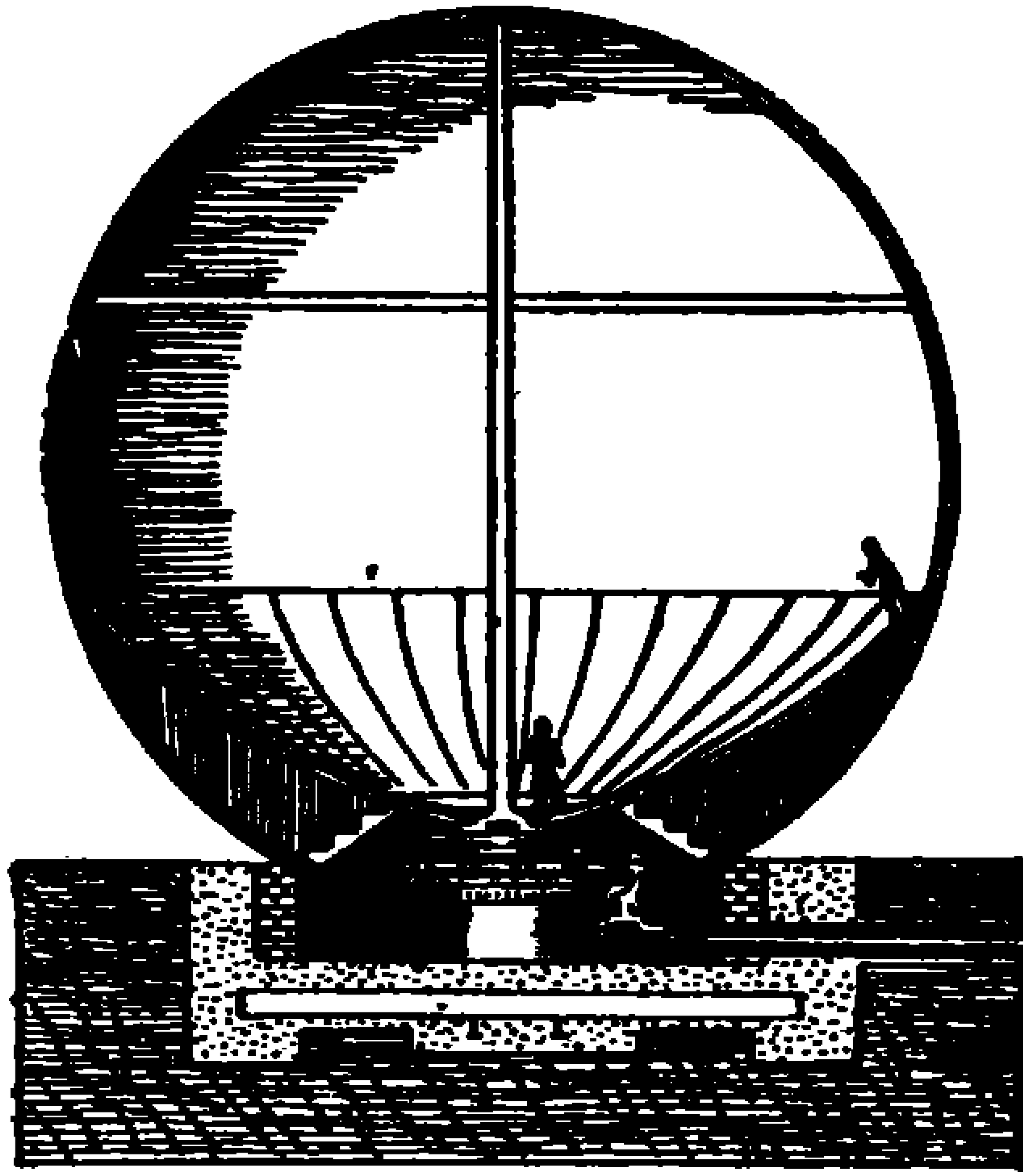
سيسقط من محله . ولكن الامر يختلف عندما تدور المنصة : عندئذ يصبح ذلك المستوى المائل — عند سرعة دوران معينة — بمثابة مستوى افقي بالنسبة لذلك الشخص . لان محصلة كلتا القوتين ، المؤثرتين عليه ، ستكون مائلة ايضا ، وعمودية على حافة المنصة المائلة * . فاذا جعلنا حافة المنصة الدوارة مائلة ، بحيث يكون سطحها — عند سرعة معينة — في كافة نقاطه ، عموديا على المحصلة ، فان الشخص الواقف في اية نقطة من تلك الحافة المائلة ، سيشعر وكأنه واقف على سطح افقي . وقد وجد بواسطة الحسابات الرياضية ، بان هذا السطح هو عبارة عن سطح جسم هندسي خاص ، يسمى بمجسم القطع المكافئ . ويمكن الحصول عليه ، اذا اخذنا قدحا مملؤا الى منتصفه بالماء ، وجعلناه يدور بسرعة حول محور عمودي . عندئذ سيرتفع الماء الموجود عند جدران القدح الى الاعلى ، بينما ينخفض الماء الموجود في المركز الى الاسفل ، وهنا يأخذ سطح الماء شكل مجسم القطع المكافئ .

واذا وضعنا في القدح ، بدل الماء ، شمعا مذابا ، واستمرينا في التدوير الى ان يبرد الشمع ، فان سطح الشمع المنجمد ، يكون على هيئة مجسم القطع المكافئ بالضبط . وعند سرعة دوران معينة ، يصبح هذا السطح ، بالنسبة للاجسام الثقيلة ، شبيها بالسطح

* ان هذا ، بالمناسبة ، يوضح لنا لماذا توضع السكة الخارجية ، عند الاقسام المنحنية من طرق السكك الحديدية ، اعلى من السكة الداخلية ، وكذلك يوضح لماذا تكون الطرق الخاصة بسباق الدراجات العادية والنارية ، مائلة الى الداخل ، ولماذا يستطيع المتسابقون المحترفون ، قيادة دراجاتهم على سطح دائري مائل .



شكل ٣٤ : اذا دورنا هذا الكأس بسرعة كافية ، فسوف لن تتدحرج الكرية (الكرة الصغيرة) الى قعره .

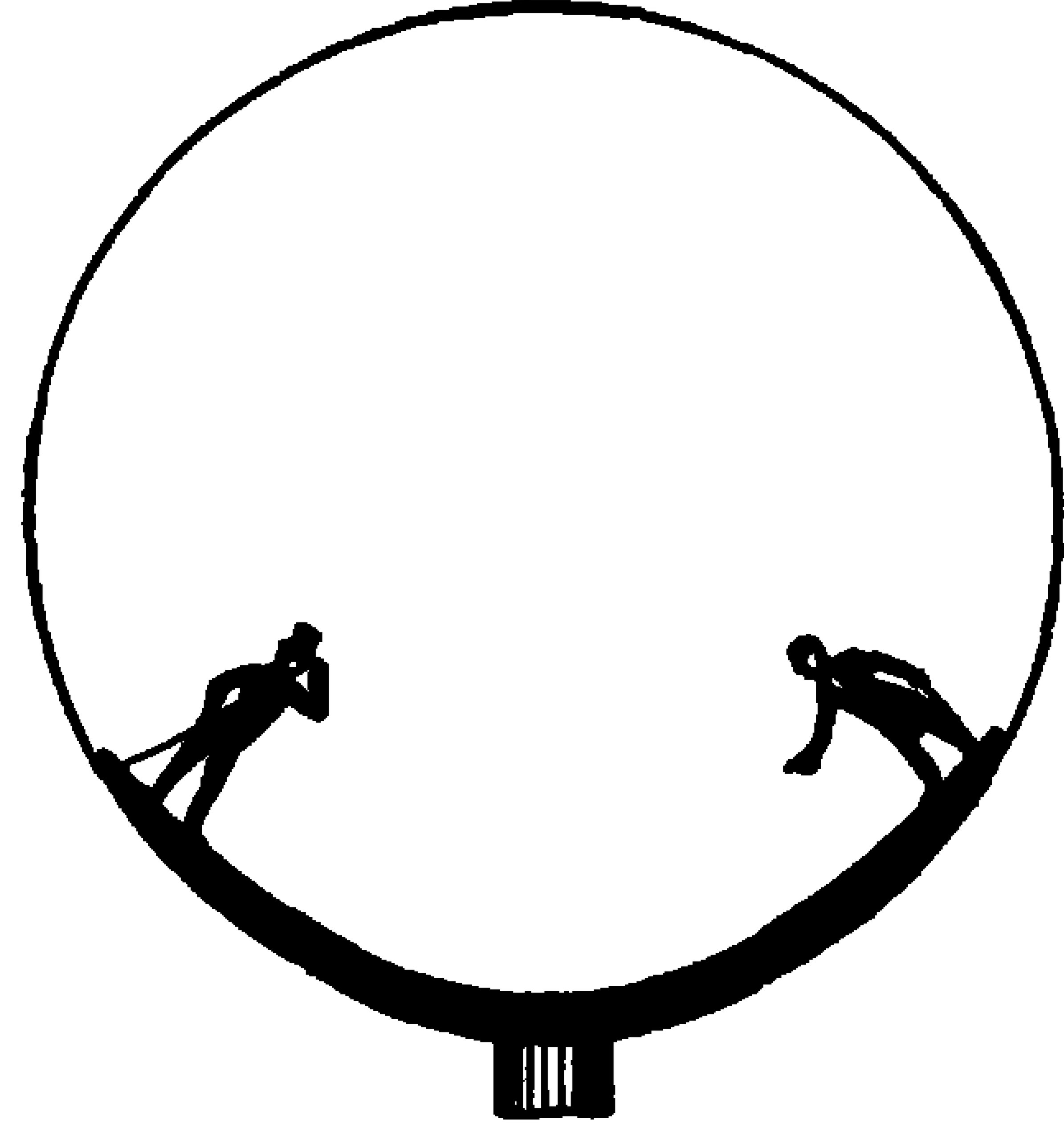


شكل ٣٥: الكرة السحرية (مقطع عرضى).

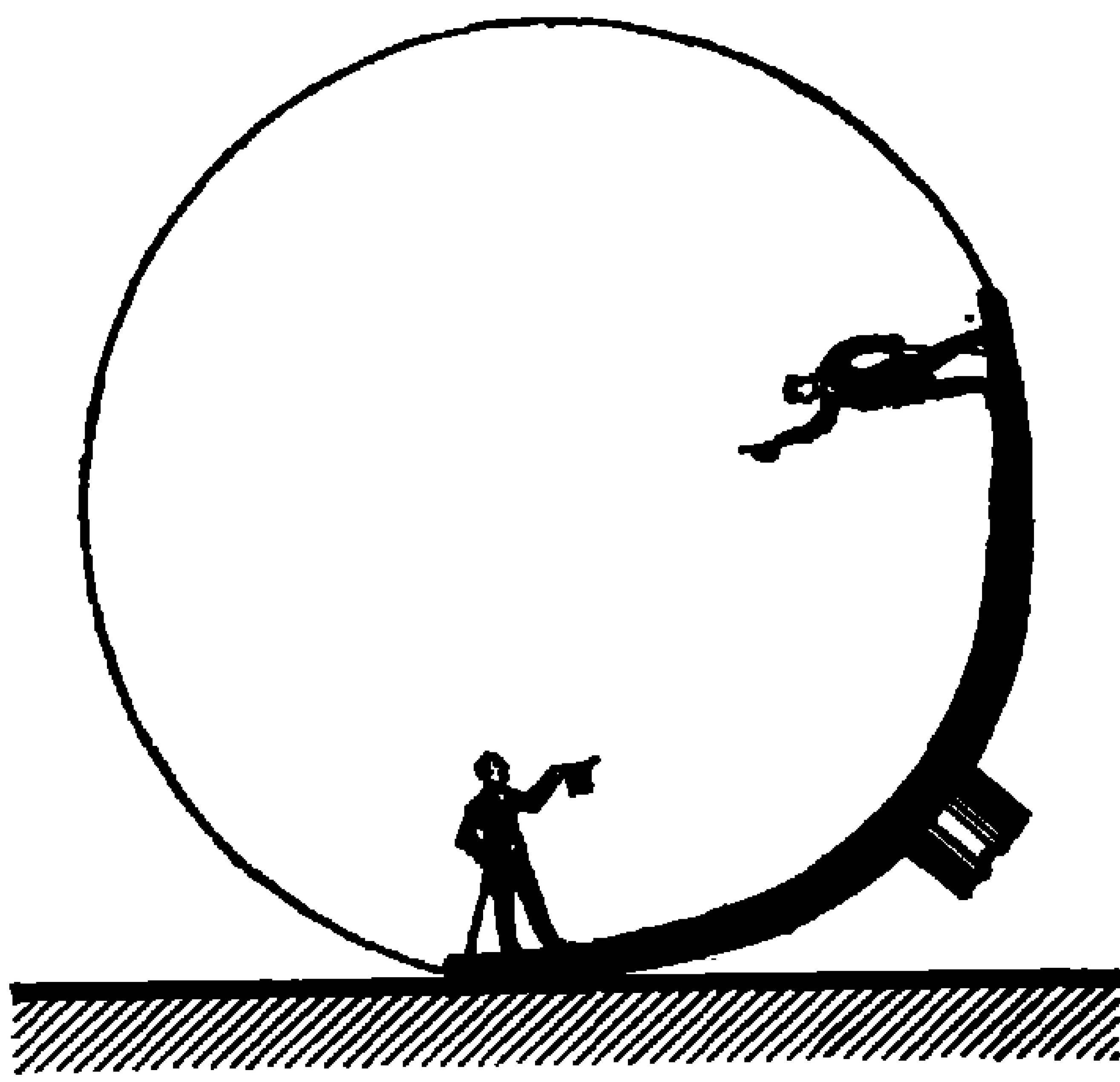
الافقى، ولا تتدحرج الكرية الموضوعة فى اية نقطة من نقاطه، بل تبقى فى ذلك المستوى (شكل ٣٤) .

والآن ، سوف يسهل علينا فهم تركيب « الكرة المسحورة » . ان قعر هذه الكرة (شكل ٣٥) ، يتألف من منصة دوارة كبيرة الحجم ، مقعرة على هيئة مجسم القطع المكافئ . ومع ان الدوران يتم بصورة سلسة للغاية ، بواسطة آلية مخفية تحت المنصة ، الا ان كافة الاشخاص الواقفين عليها ، كانوا سيتعرضون الى الاصابة بالدوار (الدوخة) ، لو لم تدر معهم كافة الاشياء الموجودة فى ذلك المكان . ولكى لا تتاح للمراقب امكانية اكتشاف الحركة الدورانية ، توضع المنصة الدوارة داخل كرة كبيرة الحجم ، ذات جدران غير شفافة ، تدور بنفس سرعة دوران المنصة .

هذا هو تركيب الارجوحة الدوارة ، التى يطلق عليها اسم « الكرة المسحورة » . والآن ، ما هو الشعور ، الذى يتملك الشخص الواقف على المنصة الموجودة فى داخل الكرة ؟



شكل ٣٦: ما هى الوضعية الحقيقية للشخصين الواقفين فى داخل الكرة السحرية ؟



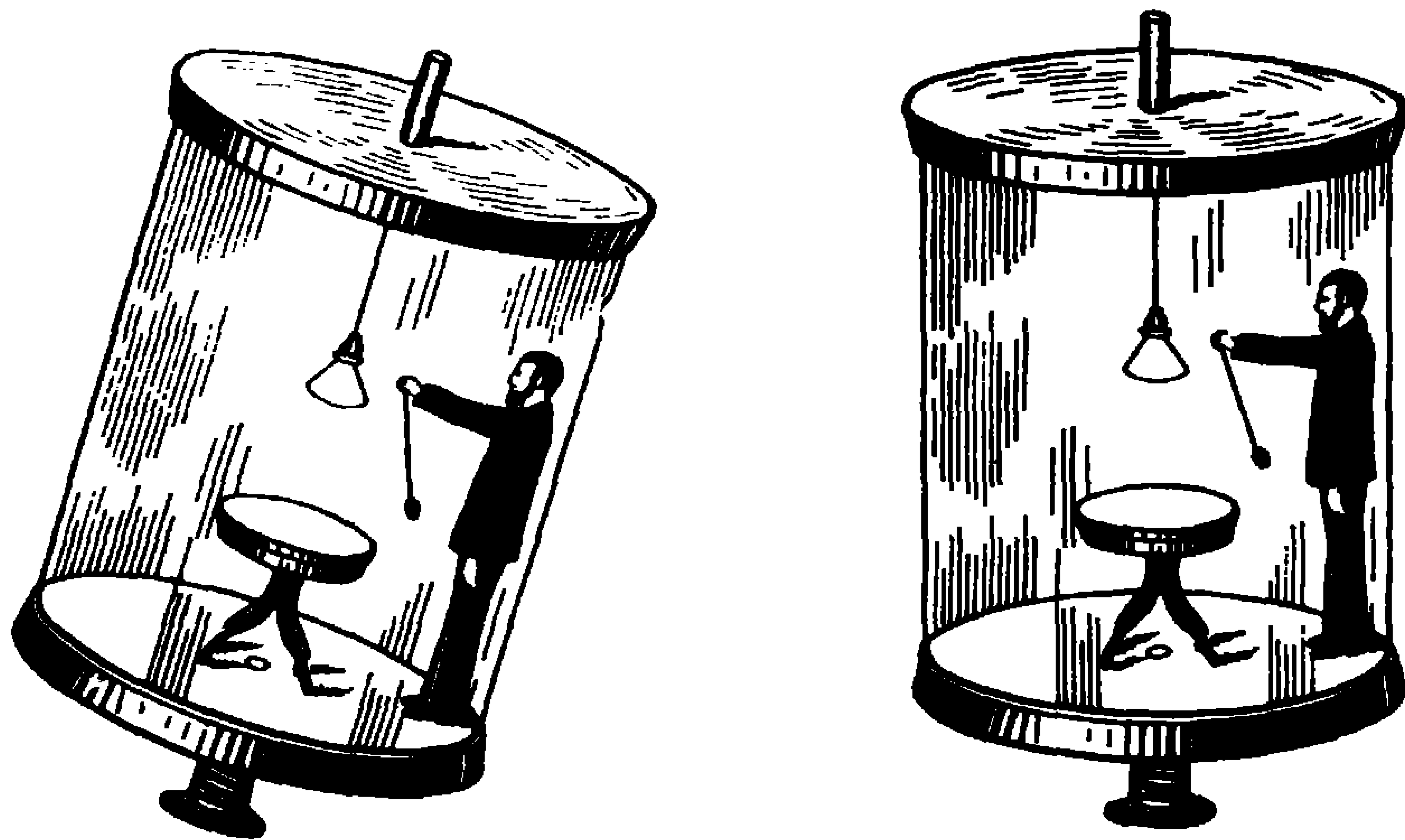
شكل ٣٧ : ما الذى يتراءى لكل منهما فى هذه الحالة ؟

عندما تدور المنصة ، تصبح الارضية التى يقف عليها ذلك الشخص ، افقية فى كافة نقاط المنصة المقعرة ، التى يقف عليها — سواء وقف قريبا من المحور ، حيث تكون الارضية افقية بالفعل ، ام وقف عند طرفها المائل بزاوية قدرها ٤٥° . ان الشخص يرى تقعر الارضية بعينيه ، ولكن شعوره العضلى يجعله يتصور بان الارضية التى يقف عليها مستوية . وهكذا يتملك الشخص ، شعوران متناقضان تماما . فاذا انتقل الشخص من احد اطراف المنصة الى الطرف الآخر ، فسيبدو له كأنّ تلك الكرة الضخمة برمتها ، قد انقلبت على الجانب الآخر بخفة فقاعة الصابون ، متأثرة بثقل جسمه ، لانه سيشعر فى كل نقطة يصلها ، بانه يقف على مستوى افقى . اما وضعية الناس الآخرين ، الواقفين على المنصة بصورة مائلة ، فيجب ان تبدو امامه ، غير طبيعية للغاية . حيث سيتصور بان هؤلاء الناس يسيرون على الجدران مثل الذباب (شكل ٣٦ و ٣٧) .

ولو سكبنا الماء على ارضية الكرة المسحورة ، لجرى بصورة افقية على سطحها المائل ، ولظهر للناس بان الماء ينتصب امامهم مثل الجدار المائل . ان الافكار

المتكونة لدينا عن قوانين الجاذبية ، تبدو متغيرة فى هذه الكرة المدهشة ، التى تنقلنا الى عالم العجائب الخيالى . ويتعرض الطيار لنفس الشعور ، عندما يدور بطائرته فى الجو . فلو كان يطير بسرعة ٢٠٠ كم/ساعة على خط منحن ، يبلغ نصف قطره ٥٠٠ م ، يجب ان تبدو الارض امامه منتصبة ومائلة بزاوية قدرها ١٦° .

وفى مدينة جيتنغن بالمانيا ، انشئ فيما مضى ، مختبر دوار مماثل لهذه الكرة ، وذلك لاجل الابحاث العلمية . وكان المختبر (شكل ٣٨) ، يتألف من غرفة اسطوانية قطرها ٣ م ، تدور بسرعة تصل الى ٥٠ دورة/ثانية . وبما ان ارضية الغرفة مستوية ، فعند دورانها ، يبدو للمراقب الواقف عند الجدار ، كما لو كانت الغرفة قد انقلبت الى الوراء ، وهو نصف ممدد على جدارها المائل (شكل ٣٩) . وفى المستقبل ، عندما تجوب الفضاء الكونى مختبرات على هيئة اقمار صناعية طويلة الاجل ، سيتم اكسابها حركة دورانية ، الامر الذى يساعد فى الحصول على جاذبية صناعية . ان تصاميم مثل هذه الاقمار الصناعية ، فى طريقها الى التنفيذ فى الوقت الحاضر .



شكل ٣٨ : المختبر الدوار — الوضعية الحقيقية . شكل ٣٩ : الوضعية الظاهرية لنفس المختبر الدوار .

تلسكوب من السوائل

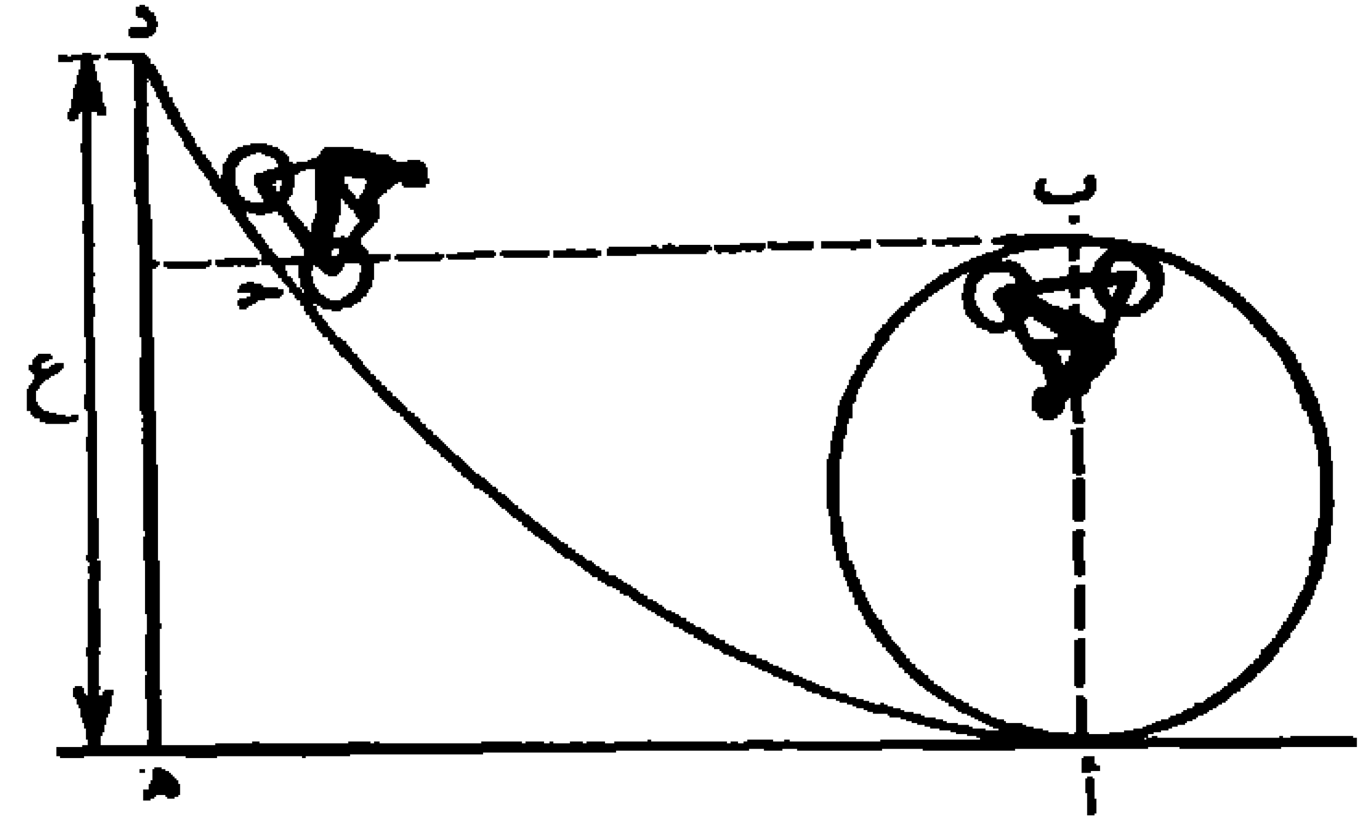
ان احسن شكل لمرآة التلسكوب العاكس ، هو القطع المكافئ ، اى ذلك الشكل الذى يأخذه سطح السائل بالذات ، عند وجوده فى اناء دوار . ويلاقى مصممو التلسكوبات صعوبات ومشاكل كثيرة فى سبيل جعل المرآة بهذا الشكل – قطع مكافئ . ويستغرق صنع مرآة التلسكوب ، سنوات كاملة . وقد تمكن الفيزيائى الامريكى وود ، من التغلب على هذه الصعوبات ، بصنع مرآة تلسكوبية من السوائل . اذ عمد الى تدوير الزئبق فى اناء عريض ، وحصل بذلك على سطح مثالى على هيئة قطع مكافئ ، يمكن استخدامه بدلا من المرآة التلسكوبية ، ذلك لان الزئبق يعكس اشعة الضوء بصورة جيدة . ولكن العيب فى هذا التلسكوب ، هو ان اقل رجة خفيفة ، تؤدى الى تغضّن سطح المرآة السائل ، وتشوه الصورة . وبغض النظر عن بساطة فكرة تلسكوب وود ، فانه لم يستخدم فى الاغراض العملية لحد الآن . حتى ان المخترع بالذات ، وجميع علماء الفيزياء المعاصرين له ، لم ينظروا الى هذا الجهاز المبتكر ، نظرة جدية .

«انشوطة الشيطان»

ربما يكون القارئ قد شاهد فى السيرك ، لعبة راكب الدراجة ، الذى يسير بدراجته على طريق يشبه الانشوطة ، حيث يبدأ سيره من الاسفل الى الاعلى ويرسم مدارا دائريا كاملا ، هذا بغض النظر عن سيره بصورة مقلوبة ، فى القسم العلوى من الطريق الانشوطى .

يجهز على المسرح طريق خشبى على هيئة انشوطة ذات لفة واحدة او عدة لفات ، كما هو مبيّن فى الشكل ٤٠. ينحدر الراكب بدراجته على القسم المائل من الانشوطة ، ثم ينطلق بسرعة الى الاعلى ، حيث يوجد القسم الدائرى من الطريق ، ويدور دورة كاملة ، ورأسه الى اسفل تماما ، ثم يعود الى الارض بنجاح . (لقد ابتكرت « انشوطة الشيطان » فى عام ١٩٠٢ ، فى آن واحد من قبل ممثلين من ممثلى السيرك ، هما ديافولو – جونسون – وميفيستو – نوازيت) .

ان لعبة الدراجة المحيّرة ، تبدو للمشاهدين وكأنها قمة الفن الاكروباتى (البهلوانى) ويتساءل المشاهدون الحيارى بذهول : ما هى القوة الخفية، التى تمنع راكب الدراجة المغامر من السقوط ، عندما يكون رأسه الى اسفل ؟



شكل ٤٠. انشوطة الشيطان. ويبدو فى الزاوية السفلى الى اليسار الرسم التخطيطى لتصميم الانشوطة .

ان المرتابين، على استعداد للشك فى هذه الخدعة الماكرة، فى الوقت الذى لايوجد فيها اى شئ خارق للطبيعة . ويمكن تفسير هذه الخدعة تماما ، بموجب قوانين الميكانيكا . ولو دحرجنا كرة البليارد على هذا الطريق ، لدارت عليه بنجاح ، كما يدور راكب الدراجة بالضبط . وتحتوى غرف الفيزياء الخاصة فى المدارس ، على نماذج مصغرة لانشوطة الشيطان .

وكانت بحوزة مبتكر ومنفذ هذه اللعبة « ميفيستو » ، كرة ثقيلة ، لاختبار تحملية الانشوطة المذكورة . كان وزنها يساوى وزن الدراجة مع راكبها . وكانت الكرة تدحرج على طريق الانشوطة ، فاذا دارت عليه بنجاح ، قام الممثل بعد ذلك بركوب دراجته والسير بها على ذلك الطريق الانشوطى بنفسه .

والآن ، لا بد وان يكون القارئ قد عرف بان سبب هذه الظاهرة العجيبة ، هو نفس السبب ، الذى فسرنا به تجربة سطل الماء الدوار ، المعروفة لدى الجميع (صفحة ٦٢) . ولعبور منطقة الخطر الواقعة فى القسم العلوى للانشوطة ، بنجاح تام ، يجب ان تكون سرعة الدراجة كبيرة بما فيه الكفاية . وهذه السرعة تحدد بالارتفاع ، الذى يبدأ منه الراكب بتحريك دراجته . اما السرعة الصغرى المسموح بها ، فتعتمد على نصف قطر الانشوطة . ونفهم من ذلك ان اللعبة لا تكون ناجحة بصورة دائمية ، اذ لا بد لذلك من دقة حساب الارتفاع ، الذى يبدأ منه راكب الدراجة بالتحرك ، والا لانتهت اللعبة بكارثة .

توجد بعض الصيغ « الجافة » ، التى تخيف عددا من هواة الفيزياء . ولكن عندما يرفض هؤلاء الناس ، التعرف على الناحية الرياضية للظواهر الفيزيائية ، فانهم يحرمون انفسهم متعة التكهن بمجرى الحوادث وتحديد شروطها . وفى حالتنا هذه مثلا ، نستطيع الاكتفاء بصيغتين او ثلاث صيغ ، لكى نحدد بدقة الشروط ، التى تضمن لنا النجاح عندما نقوم بلعبة مدهشة ، مثل ركوب الدراجة فى « انشوطة الشيطان » .

والآن نبدأ فى الحساب .

لنشر الى المقادير التى ستدخل فى الحساب ، بالرموز التالية :

ع ــ الارتفاع الذى سيتدحرج منه راكب الدراجة ،

ص ــ ذلك الجزء من الارتفاع ، الذى يقع فوق النقطة العليا للانشوطة ، ويتضح من الشكل ٤٠ ، ان ص = ع ــ أ ب ،

نق ــ نصف قطر لفة الانشوطة ،

ك ــ الكتلة الاجمالية للدراجة وراكبها ، ويمكن الرمز الى وزنهما بالحرفين ك ج ،

ج ــ تسارع الجاذبية الارضية ، والمعروف انه يساوى ٩٫٨ م/ثا^2 ،

س ــ سرعة الدراجة ، عند وصولها الى اعلى نقطة فى الانشوطة .

وباستطاعتنا وضع معادلتين ، تحتويان على جميع المقادير المذكورة اعلاه :

اولا ــ نعرف من قوانين الميكانيكا ، ان سرعة الدراجة عند وصولها الى نقطة حـ ، الواقعة على الطريق المائل ، فى مستوى النقطة ب (هذه الوضعية مبينة فى اسفل الشكل ٤٠) ، تساوى سرعة الدراجة نفسها عند وصولها الى النقطة العليا للانشوطة ، وهى نقطة ب . ويعبّر عن السرعة الاولى بالصيغة التالية *: س = $\sqrt{\text{٢ ج ص}}$ ، أو س^2 = ٢ ج ص . وبالتالى ، فان سرعة الدراجة فى نقطة ب ، تساوى : س = $\sqrt{\text{٢ ج ص}}$ ، أو

* فى هذه الحالة تهمل طاقة الاطارات الدوارة لعجلات الدراجة ، لانها لا تؤثر على نتيجة الحساب الا قليلا جدا .

$س^2 = 2$ ج ص . ثانيا – لكى نحول دون سقوط راكب الدراجة عند وصوله الى نقطة ب ، يجب ان يكون تسارع الجذب المركزى ، اكبر من تسارع الجاذبية ، اى يجب ان يكون لدينا : $\frac{س^2}{نق} >$ ج، او $س^2 >$ ج نق . ولكننا نعرف ان $س^2 = 2$ج ص ؛ اذن ٢ ج ص > ج نق ، او ص > $\frac{نق}{2}$. وهكذا، عرفنا بان القيام بهذه اللعبة المحيرة، بنجاح تام ، يتطلب انشاء « انشوطة الشيطان » ، بحيث تكون قمة القسم المائل من الطريق ، اعلى من قمة الانشوطة باكثر من $\frac{1}{2}$ نصف قطرها . ان زاوية ميل الطريق لا تلعب دورا فى هذه الحالة . والشىء المهم هنا ، ان تكون نقطة بداية حركة الدراجة ، اعلى من قمة الانشوطة باكثر من $\frac{1}{4}$ قطرها . ان هذا الحساب لا يأخذ تأثير قوة الاحتكاك فى الدراجة ، فى الاعتبار . وتعتبر السرعتان فى كل من النقطتين حـ و ب ، متساويتين . لذا لا يجب ان يكون الطريق طويلا جدا ، والمنحدر قليل الميل .

وعندما يكون المنحدر قليل الميل ، تصبح سرعة الدراجة عند وصولها الى نقطة ب ، اقل من سرعتها فى نقطة حـ ، وذلك نتيجة لتأثير الاحتكاك .

واذا كان قطر الانشوطة مثلا ، ١٦ م ، يجب على راكب الدراجة ان يبدأ بالانحدار من ارتفاع لا يقل عن ٢٠ م . اما اذا لم يكن هذا الشرط متوفرا ، فلن يستطيع راكب الدراجة ، مهما تفنن ، ان يقوم بدورة كاملة فى « انشوطة الشيطان » ، لانه سوف يسقط الى الاسفل قبل ان يصل الى قمة الانشوطة .

ويجب ان نلاحظ ، بان الراكب عند القيام بهذه اللعبة ، لا يحرك السلسلة ، بل يترك الدراجة لتأثير قوة الجاذبية . انه لا يستطيع الاسراع او الابطاء من حركة الدراجة ، و لا يجب عليه ان يفعل ذلك . ان كل ما يجب عليه عمله ، هو المحافظة على سيره فى وسط الطريق الخشبى ، لان اقل انحراف ، يعرض الراكب الى الخروج عن ذلك الطريق والسقوط على الارض .

ان سرعة الدوران فى الانشوطة كبيرة جدا ، فعندما يبلغ قطر الانشوطة ١٦ م ، تستغرق الدورة حول الانشوطة ٣ ثوان . وسرعة الدوران هذه ، تعادل سرعة قدرها ٦٠ كم/ساعة ! ان التحكم فى الدراجة المنطلقة بمثل هذه السرعة ، يعتبر بطبيعة الحال عملا صعبا . ولكننا لا نحتاج الى القيام بهذا العمل ، حيث يمكن الاعتماد بثقة تامة على قوانين الميكانيكا . وهناك كراس وضعه احد راكبى الدراجات المحترفين ، نجد فيه حديثا بهذا الخصوص ، حيث يقول المؤلف : « ان لعبة الدراجة هذه ، لا تشكل خطرا بحد ذاتها ، اذا كان الحساب مضبوطا وكان تصميم الجهاز جيدا وقويا . ان خطر اللعبة يكمن فى راكب الدراجة نفسه . فاذا ارتجفت يده ، او ساوره القلق وفقد الثقة بنفسه ، او اصيب بالدوار فجأة ، عندئذ يمكن ان نتوقع كل شئ » .

ان لعبة « الانشوطة الخاملة » المعروفة ، وغيرها من الحركات البهلوانية فى الجو ، مبنية على نفس القاعدة السابقة . والاشياء التى تلعب الدور الرئيسى فى لعبة « الانشوطة الخاملة » ، هى تسارع تحليق الطيار فى رسم الاقواس فى الجو ، ومهارة الطيار وخبرته فى قيادة الطائرة .

نقص فى الوزن

اعلن احد الظرفاء ذات مرة ، انه يعرف طريقة لغبن الزبائن فى وزن المشتريات ، بدون ان يلجأ الى اية حيلة . وسرّ هذه الطريقة يتلخص فى شراء الحاجيات من البلدان الواقعة على خط الاستواء ، وبيعها فى البلدان القريبة من القطبين الشمالى او الجنوبى . والمعروف منذ قديم الزمان ، ان وزن الاشياء عند خط الاستواء ، اقل من وزنها عند القطبين . ان الشئ الذى يزن ١ كجم عند خط الاستواء ، يزداد وزنه بمقدار ٥ جم ، بعد نقله الى القطب . ولكن يجب فى هذه الحالة الاّ نستخدم ميزانا عاديا ، بل ميزانا زنبركيا مدرجا ، مصنوعا عند خط الاستواء ، والا فلن نحصل على اية فائدة ، لان وزن الشئ سيزيد ، ويزيد معه وزن السنجة بنفس المقدار .

ولا اعتقد بان التجارة بهذه الطريقة ، يمكن ان تغنى احدا من الناس ، ولكن ذلك الظريف كان محقا فى الواقع . ان قوة الجاذبية تزداد فى الواقع ، كلما ابتعدنا عن خط الاستواء . وسبب ذلك ، هو ان الجسم الموجود عند خط الاستواء ، يرسم عند دوران الارض ، دوائر واسعة جدا ، وكذلك لان الكرة الارضية منتفخة عند خط الاستواء .

ان السبب الرئيسي لنقصان الوزن ، يعود الى دوران الارض ، الامر الذى يجعل وزن الجسم عند خط الاستواء، يقل عن وزنه عند القطبين بمقدار $\frac{١}{٢٩٠}$. ويكون الفرق فى الوزن عند نقل الجسم من خط عرض الى آخر ، ضئيلا جدا بالنسبة للاجسام الخفيفة . اما بالنسبة للاجسام الثقيلة جدا ، فيصبح ذلك الفرق جديرا بالاعتبار . واظن ان القارئ لا يعرف بان القاطرة البخارية ، التى تزن ٦٠ طنا فى موسكو ، يزداد وزنها بمقدار ٦٠ كجم عند وصولها الى مدينة ارخانجلسك الواقعة فى شمال الاتحاد السوفييتى ، ويقل وزنها بمقدار ٦٠ كجم عند وصولها الى مدينة اوديسا ، الواقعة فى الجنوب .

وقد مرت فترة من الزمن ، كان يشحن فيها كل عام ٣٠٠٠٠٠ طن من الفحم الحجرى ، من جزيرة شبيتزبيرجن الى الموانئ الجنوبية البعيدة . فاذا فرضنا ان هذه الكمية شحنت الى احد الموانئ الواقعة عند خط الاستواء ، لوجدنا ان وزنها سينقص بمقدار ١٢٠٠ طن ، لو اعدنا وزنها بميزان زنبركى منقول من تلك الجزيرة الى هذا الميناء .

والبارجة التى تزن ٢٠٠٠٠ طن فى ميناء ارخانجلسك ، يقل وزنها بمقدار ٨٠ طنا ، عند وصولها الى المياه الاستوائية ، ولكن هذا النقصان لا يكون ملموسا ، وذلك لنقصان وزن الاجسام الباقية تبعا لذلك ، وبضمنها مياه المحيط * بطبيعة الحال .

ولو دارت الكرة الارضية حول محورها ، اسرع مما تدور فى الوقت الحاضر ، مثلا لو لم يدم اليوم الواحد ٢٤ ساعة ، بل دام ، ٤ ساعات فقط ، لكان الفرق فى وزن

---

* ولهذا السبب يكون حجم الماء ، الذى تزيحه الباخرة فى البحار الاستوائية ، مساويا لحجم الماء الذى تزيحه فى البحار القطبية ، بالرغم من انها تصبح اخف وزنا فى البحار الاستوائية. ولكن الماء المزاح يصبح اخف وزنا ايضا ، بنفس المقدار .

الاجسام عند خط الاستواء وعند القطبين ، اكبر مما هو عليه الآن بكثير . وعندما يدوم اليوم الواحد ٤ ساعات فقط ، نرى مثلا ، ان السنجة التى تزن ١ كجم عند القطبين ، لا تزن اكثر من ٨٧٥ جم عند خط الاستواء . وهذه تقريبا ، نفس ظروف الجاذبية ، التى نجدها على كوكب زحل ، حيث يزيد وزن الاجسام الواقعة بالقرب من خط استواء الكوكب المذكور بمقدار $\frac{1}{6}$ ، بعد نقلها الى احد قطبيه .

وبما ان تسارع الجذب المركزى ، يتناسب طرديا مع مربع السرعة ، فيصبح من السهل حساب السرعة ، التى يجب ان تدور بها الارض عند خط الاستواء ، لكى يزيد ذلك التسارع بمقدار ٢٩٠ مرة ، اى لكى يتعادل مع قوة الجاذبية . ويتم ذلك اذا اصبحت الارض تدور بسرعة ، تزيد على سرعتها الحالية بمقدار ١٧ مرة (١٧×١٧= =٢٩٠ تقريبا) . وفى مثل هذه الحالة ، تتوقف الاجسام عن الضغط على مساندها (مرتكزاتها) . وبعبارة اخرى ، لو كانت الارض تدور حول محورها ، اسرع مما تدور الآن بمقدار ١٧ مرة ، لما كان للاجسام اى وزن عند خط الاستواء ! وكان نفس الشىء سيحدث على كوكب زحل ، لو زادت سرعة دورانه بمقدار ٢٫٥ مرة ، عما هى عليه الآن .

الفصل الرابع | الجاذبية الارضية

هل ان قوة الجاذبية كبيرة جدا ؟

قال العالم الفلكي الفرنسي الشهير اراغو : « لو لم نلاحظ سقوط الاجسام في كل دقيقة ، لاعتبرنا ذلك ظاهرة مدهشة للغاية » . ان العادة وحدها ، هي التي تجعلنا نشعر بان جذب الارض لكافة الاجسام الموجودة عليها ، هو ظاهرة عادية . ولكن عندما يقال لنا بان الاجسام تجذب بعضها البعض ايضا ، لا نميل الى تصديق هذا القول ، لاننا لا نلاحظ شيئا من هذا القبيل في حياتنا اليومية المعتادة .

وبالفعل ، لماذا لا نشعر بوجود قانون الجاذبية العامة ، بصورة دائمة في الظروف العادية ؟ ولماذا لا نرى كيف تتجاذب كل من المناضد والبطيخات والناس ، مع بعضها البعض ؟ السبب هو ان قوة تجاذب الاجسام الصغيرة مع بعضها البعض ، ضئيلة جدا .

ونقدم الآن مثالا توضيحيا : اذا وقف رجلان على مسافة مترين من بعضهما ، فانهما سيجذبان بعضهما البعض ، ولكن قوة هذا التجاذب ضئيلة جدا ، بحيث تقل عن $\frac{1}{100}$ مليجرام . وهذا يعني ان الرجلين يجذبان بعضهما البعض ، بنفس القوة ، التي تضغط بها سنجة وزنها $\frac{1}{100000}$ جم ، على كفة الميزان .

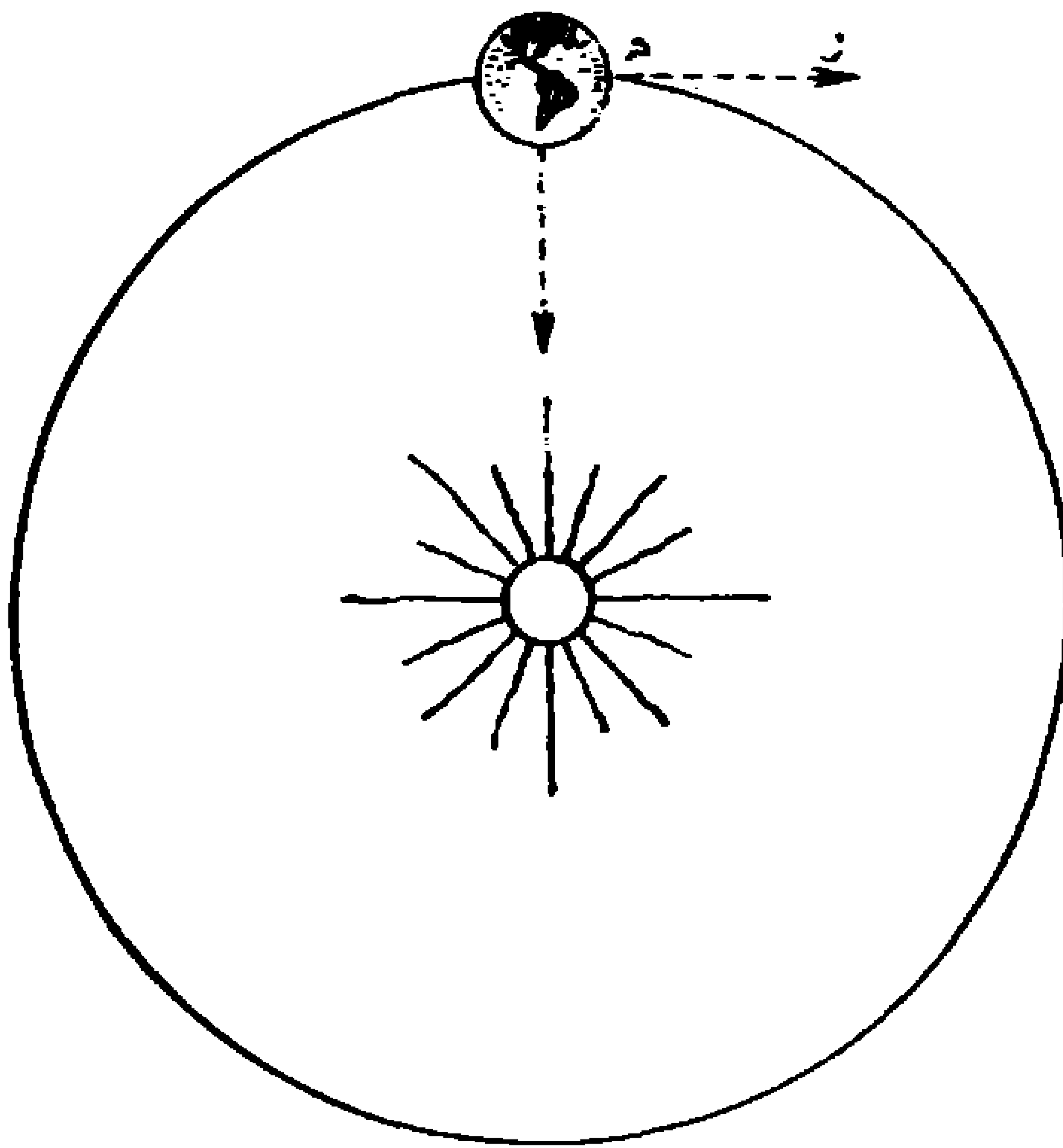
ولكن هذا الوزن الضئيل جدا ، يؤثر على الموازين الشديدة الحساسية ، التي تستخدم في المختبرات العلمية . والمفهوم ان مثل هذه القوة ، لا تستطيع تحريكنا من اماكننا ، لان احتكاك اقدامنا بالارض ، يحول دون ذلك . ولكي يتم تحريكنا ، مثلا على ارضية خشبية (قوة احتكاك الاقدام بالارضية تساوي ٣٠٪ من وزن الجسم) ،

يجب استخدام قوة لا تقل عن ٢٠ كجم. ومن المضحك ان نقارن هذه القوة، مع قوة الجاذبية الضئيلة، التى لا تتجاوز $\frac{١}{١٠٠}$ مليجرام. و المليجرام يساوى $\frac{١}{١٠٠٠}$ جم= $\frac{١}{١٠٠٠٠٠٠}$ كجم؛ اى ان قوة ١ ٠ر٠ مليجرام، تمثل نصف جزء من مليار جزء من القوة اللازمة لتحريكنا من اماكننا!

اذن هل يكون من المدهش حقا، اذا لم نلاحظ اية اشارة تدل على وجود التجاذب المتبادل بين الاجسام الموجودة على سطح الارض ؟

ان الامر يختلف تماما فى حالة عدم وجود الاحتكاك ؛ حيث لا شىء يمنع حتى اضعف قوى الجاذبية، من التأثير على الاجسام وتقريبها من بعضها . ولكن عند قوة جاذبية قدرها ١ ٠ر٠ مليجرام، يجب ان تكون سرعة تقارب الاجسام، ضئيلة للغاية . وتدل الحسابات على انه عند عدم وجود الاحتكاك، فان الشخصين، اللذين تفصلهما عن بعض مسافة قدرها مترين، يقتربان من بعضهما بمقدار ٣ سم، خلال الساعة الاولى، وبمقدار ٩ سم خلال الساعة الثانية، وبمقدار ١٥ سم خلال الساعة الثالثة . ويستمر تسارع الحركة، ولكن اقتراب الشخصين حتى التلاصق، لايتم الا بعد مرور خمس ساعات فقط .

ويمكن اكتشاف جاذبية الاجسام الموجودة على سطح الارض، فى تلك الحالات، التى لا تكون فيها قوة الاحتكاك عقبة فى هذا السبيل، اى فى حالة الاجسام الساكنة .ان الثقل المعلق فى خيط، يقع تحت تأثير قوة الجاذبية الارضية . ولهذا يكون الخيط عموديا على الارض، ولكن اذا وجد بالقرب من هذا الثقل، جسم ثقيل جدا يجذبه



شكل ٤١: ان جاذبية الشمس تحنى مسار الكرة الارضية ه. ونتيجة لتأثير القصور الذاتى تحاول الكرة الارضية الانطلاق فى مدارها على المماس ه ر.

نحوه ، فان الخيط ينحرف قليلا عن وضعه العمودى ، ويأخذ اتجاه محصلة الجاذبية الارضية وجاذبية الجسم الثقيل بالنسبة للثقل المعلق . وكان اول من لاحظ هذه الظاهرة (عام ١٧٧٥) ، العالم ماسكيلان ، وذلك قرب احد الجبال الكبيرة فى أسكتلندة ؛ حيث قارن الاتجاه العمودى للخيط مع الاتجاه المؤدى الى القطب السماوى ، من كلتا جهتى ذلك الجبل بالذات . وقد امكن بواسطة التجارب الدقيقة ، التى تناولت جاذبية الاجسام الموجودة على الارض ، قياس قوة التجاذب بصورة دقيقة ، وذلك باستخدام موازين خاصة التركيب .

ان قوة التجاذب بين الاجسام الصغيرة ، ضئيلة جدا . وعند زيادة الكتل ، تزداد القوة زيادة طردية مع حاصل ضرب الكتل . ولكن الكثيرين من الناس ، يميلون الى المبالغة فى تقدير هذه القوة . وقد حاول احد العلماء — وهو فى الحقيقة ليس فيزيائيا ، بل من علماء الحيوان — اقناعى بان التجاذب المتبادل ، الذى يحدث كثيرا بين البواخر ، يعود الى قوة الجاذبية الارضية ! ويمكن بحساب بسيط ، ان نثبت بان قوة الجاذبية الارضية لا تلعب دورا فى هذه الحالة : ان البارجتين ، اللتين تزن كل منهما ٢٥٠٠٠ طن ، والواقعتين على مسافة ١٠٠ م من بعضهما ، تتجاذبان مع بعضهما بقوة قدرها ٤٠٠ جم فقط . وواضح ان هذه القوة لن تستطيع تحريك البارجتين فى الماء ، ولو قيد شعرة . اما السبب الحقيقى لتجاذب البارجتين المحيّر ، فسوف نأتى على شرحه فى الفصل المتعلق بخواص السوائل .

ان قوة الجاذبية الضئيلة بالنسبة للكتل الصغيرة ، تصبح محسوسة جدا ، عندما يتعلق الامر بالكتل الهائلة للاجرام السماوية . حتى ان نبتون ، وهو الكوكب البعيد جدا عن الارض ، الذى يدور ببطء عند حافة المنظومة الشمسية ، يجذب الارض بقوة قدرها ١٨ مليون طن ! وبغض النظر عن المسافة الشاسعة ، التى تفصلنا عن الشمس ، فان الفضل فى عدم خروج الارض عن مدارها الثابت ، يعود الى قوة الجاذبية وحدها ، واذا حدث ان انعدمت قوة جاذبية الشمس ، لسبب من الاسباب ، لانطلقت الارض على الخط المماسى لمدارها ، مندفعة نحو اعماق الفضاء الكونى اللامتناهى .

حبل فولاذى من الارض الى الشمس

لنتصور ان قوة جاذبية الشمس الخارقة، قد انعدمت لسبب من الاسباب ، وان الارض ستلاقى مصيرها المحزن ، باندفاعها الازلى فى متاهات الفضاء الكونى ، الباردة المعتمة . ولنتصور كذلك بأن المهندسين قرروا استبدال حبال الجاذبية غير المرئية ، بحبال مادية ، اى ارادوا ببساطة ان يربطوا الارض مع الشمس بحبال فولاذية متينة لتمنع الارض من الخروج عن مدارها الثابت حول الشمس . وليس هناك اقوى من الفولاذ ، الذى يتحمل قوة شد تساوى ١٠٠ كجم/مم ٢. لنفرض ان لدينا عمودا فولاذيا ضخما ، يبلغ قطره ٥ م . ان مساحة مقطع هذا العمود تساوى ٢٠٠٠٠٠٠٠ مم ٢؛ وبالتالى ، فان مثل هذا العمود ، لا ينقطع الا بتأثير قوة قدرها ٢٠٠٠٠٠٠ طن . ولنفرض كذلك ، بان هذا العمود يمتد من الارض الى الشمس بالذات ، ويربط بين هذين الكوكبين . هل يعرف القارئ ، كم كان سيبلغ عدد الاعمدة الجبارة المماثلة ، التى نحتاجها لمنع الارض من الخروج عن مدارها ؟ كنا سنحتاج فى هذه الحالة ، الى مليون مليون عمود ! ولكى نستطيع ان نتصور بوضوح ، هذه الغابة من الاعمدة الفولاذية ، المغروسة بكثافة فى كافة القارات والمحيطات ؛ يجب ان نعلم بانه عند توزيع هذه الاعمدة بصورة منتظمة ، على نصف الكرة الارضية المقابل للشمس ، نجد ان المسافة التى تفصل بين عمود وآخر ، لا تزيد الا قليلا عن قطر العمود بالذات . فاذا استطعنا تصور القوة اللازمة لقطع كافة الاعمدة الفولاذية المذكورة ، لامكننا تكوين فكرة عن القوة الخفية الخارقة للتجاذب المتبادل بين الارض والشمس .

وهذه القوة الهائلة برمتها ، لا تستخدم الا لغرض واحد فقط ، هو حنى مسار الارض ، وذلك بجعلها تنحرف عن المماس ، بمقدار ٣ مم فى كل ثانية . وبفضل ذلك يتحول مسار الكرة الارضية ، الى مدار اهليلجى مقفل . اليس من المدهش ان نحتاج الى مثل هذه القوة الجبارة ، لكى نزحزح الارض بمقدار ٣ مم فقط ، فى كل ثانية ! ان هذا يبين لنا مدى عظمة كتلة الارض ، بحيث تستطيع مثل هذه القوة الجبارة ، ان تزحزحها لمسافة لا تزيد على ٣ مم .

هل يمكن التخلص من قوة الجاذبية ؟

لقد تصورنا الآن ، كيف ستكون عليه الحالة ، عند انعدام الجاذبية المتبادلة بين الشمس والارض ، وقلنا بان الارض اذا تخلصت من قيود الجاذبية الخفية ، فانها ستنطلق في رحاب الفضاء الكوني اللامتناهي . والآن ننتقل بخيالنا الى وضعية اخرى : ما هي الاشياء التي نتوقع حدوثها لكافة المواد الموجودة على سطح الارض ، في حالة انعدام الجاذبية ؟ في هذه الحالة سوف لا يربط هذه المواد بالارض ، اي شيء ، وسوف تنطلق بعيدا في رحاب الفضاء الكوني ، عند تعرضها لاية دفعة صغيرة . حتى انها لن تحتاج الى اية دفعة ، لان دوران الارض ، سيؤدي عندئذ الى انطلاق كافة المواد غير الوثيقة الاتصال بالارض ، نحو الفضاء الكوني .

وقد اختار الكاتب الانكليزي ويلز ، هذا النوع من الافكار ، ليكون مادة لقصة خيالية ، تحدثنا عن رحلة الى القمر . ويشير الكاتب الحاذق ، في هذه القصة المعنونة « الناس الاوائل على سطح القمر » ، الى طريقة فريدة للسفر من كوكب الى آخر . ان بطل قصة ويلز ، هو عالم استطاع اختراع سبيكة معينة ، لها خاصية رائعة ، هي اللا انفاذية بالنسبة لقوة الجاذبية . فاذا وضعنا طبقة من هذه السبيكة ، تحت احد الاجسام ، فانه يتخلص من جاذبية الارض ، ولا يتأثر الا بجاذبية الاجسام الاخرى فقط . وقد اطلق ويلز على هذه السبيكة اسم « كيفوريت » ؛ وهو مشتق من اسم مخترعها كيفور .

ويقول ويلز في قصته : « نعرف ان الجاذبية الارضية ، تنفذ الى جميع الاجسام . ويمكننا ان نحجب اشعة الضوء عن الاجسام ، بوضع حواجز معينة ؛ كما يمكننا باستخدام الصفائح المعدنية ، ان نمنع وصول الموجات الكهربائية للتلغراف اللاسلكي الى الاجسام ؛ ولكننا لا نستطيع باي حاجز كان ، ان نحول دون تأثر الاجسام بجاذبية الشمس ، او بقوة الجاذبية الارضية . اما لماذا لا توجد في الطبيعة حواجز تمنع نفاذ الجاذبية ، فهو سؤال تصعب الاجابة عليه . ولكن كيفور لم يقتنع بوجود سبب ، يحول دون وجود مادة تمنع نفاذ الجاذبية ، ووجد في نفسه القدرة على خلق مثل هذه المادة » .

وبامكان كل من يتمتع ولو بشيء من سعة الخيال ، ان يتصور بسهولة، مدى الامكانيات الخارقة للعادة ، التي تتيحها لنا هذه المادة . فاذا كان ينبغي مثلا ، رفع ثقل ما ، مهما كان كبيرا ، يكفي للقيام بذلك ان نضع تحته صفيحة من تلك المادة ، وسنرى اننا نستطيع رفعه حتى بقشة . وبامتلاك هذه المادة (السبيكة) المدهشة ، تمكن ابطال قصة ويلز من صنع سفينة فضائية ، انطلقت بهم في رحلة جريئة الى القمر . وكان تركيب تلك السفينة بسيطا جدا . انها لم تكن تحتوي على محركات لانها تتحرك بتأثير قوة جاذبية الكواكب .

واليكم وصف تلك السفينة الخيالية : « تصوروا قذيفة كروية كبيرة الى درجة كافية ، بحيث تتسع لركوب شخصين مع امتعتهما . ولهذه القذيفة غلافان — داخلي مصنوع من زجاج سميك ، وخارجي مصنوع من الفولاذ . وباستطاعة الراكبين ان يأخذا معهما كميات احتياطية من الهواء المكثف والمأكولات المعلبة ، مع اجهزة لتقطير الماء وغير ذلك . وستكون الكرة الفولاذية برمّتها ، مطلية من الخارج بطبقة من « الكيفوريت » . اما الكرة الزجاجية الداخلية ، فتكون مؤلفة من قطعة واحدة مصمتة ، تحتوي على فتحة واحدة فقط . وسوف تكون الكرة الفولاذية ، مؤلفة من اجزاء مستقلة ، بحيث يمكن طيّ كل جزء منها مثل الستارة . ويمكن عمل ذلك بسهولة ، باستخدام زنبركات خاصة ؛ وسوف يكون باستطاعة الركاب ، اسدال وطيّ الستائر ، بواسطة التيار الكهربائي ، المار بالاسلاك البلاتينية ، المثبتة في الغطاء الزجاجي . والآن ، لنترك هذه التفاصيل التكنيكية ، لان المسألة الاساسية التي تهمنا ، هي ان الغلاف الخارجي للقذيفة ، سيكون باجمعه مؤلفا من نوافذ ومن ستائر مصنوعة من مادة الكيفوريت . وعندما تكون الستائر كلها ، مسدلة باحكام ، لا يمكن للضوء أو لاي نوع من انواع الطاقة الاشعاعية بصورة عامة ، او لقوة الجاذبية النفاذ الى داخل القذيفة الكروية . ولكن اذا كانت احدى الستائر مفتوحة ، عندئذ سيكون باستطاعة اي جسم ثقيل ، يقع بالصدفة على مسافة بعيدة امام هذه النافذة ، ان يجذب القذيفة نحوه . وهكذا يمكن عمليا ، القيام برحلة في الفضاء الكوني الى الجهة التي نريدها ، حيث ستجذب القذيفة في كل مرة ، من قبل كوكب معين » .

كيف طار ابطال ويلز الى القمر

لقد وصف ويلز لحظة انطلاق السفينة الفضائية ، وصفا ممتعا . ان طبقة الكيفوريت الرقيقة ، التي تغطي السطح الخارجي للسفينة ، تجعلها عديمة الوزن تماما . ويعرف القارئ ، بان الجسم العديم الوزن ، لا يمكن ان يستقر بسكون على قاع المحيط الهوائي ؛ ويجب ان يحدث له ، نفس الشيء الذي يحدث لقطعة من الفلين عند وضعها على قاع البحيرة ، اذ تطفو بسرعة الى الاعلى نحو سطح الماء. وبنفس الكيفية ، تحاول السفينة العديمة الوزن – التي يعمل القصور الذاتي لدوران الارض على دفعها ، بالاضافة الى العوامل السابقة – التحليق الى الاعلى ، حتى تصل الى اقصى حدود المحيط الجوى ، ثم تنطلق بعد ذلك لا تمام رحلتها في رحاب الفضاء الكوني . وهكذا تم تحليق ابطال القصة ، بنفس الطريقة المذكورة . وعندما وصلت بهم السفينة الى الفضاء الكوني ، اخذوا يفتحون بعض الستائر ثم يسدلونها ويفتحون غيرها ، معرضين باطن السفينة مرة لجاذبية الشمس ، واخرى لجاذبية الارض أو لجاذبية القمر ، وهكذا حتى وصلوا الى سطح التابع الارضي – القمر . وبعد ذلك ، عاد احد الركاب الى الارض ، على متن نفس السفينة .

وسوف لا اقوم الآن بتحليل افكار ويلز ، من حيث اهميتها العملية ، لانني قد ناقشت ذلك في موضع آخر من هذا الكتاب * ، واوضحت بانها باطلة اساسا . اما الآن ، فسوف نوافق على آراء ويلز لفترة وجيزة ، ونتتبّع ابطاله في رحلتهم القمر .

نصف ساعة على القمر

لنرى ما هو شعور ابطال قصة ويلز ، عندما وجدوا انفسهم في عالم آخر ، تقل قوة جاذبيته عن قوة جاذبية الارض . واليكم هذه الصفحات الطريفة من قصة ويلز « الناس الاوائل على سطح القمر » . والمتحدث هنا ، هو احد رجال الارض ، الذين وصلوا توّا الى القمر : « بدأت بفتح نافذة سقف السفينة ، واخذت بعد ذلك اطل برأسي

---

* رحلة بين الكواكب .

من تلك النافذة وانا جالس على ركبتيّ . ورأيت على بعد ثلاثة اقدام مني ، ثلوج القمر التي لم يطأها أحد بتاتا . وجلس كيفور على حافة النافذة وقد التفح ببطانية واخذ يمد رجليه بحذر . وبعد ان اصبحت قدماه على ارتفاع نصف قدم من التربة ، تردد برهة ، ثم ما لبث ان هبط على تربة القمر .

اما انا ، فقد اخذت اتتبعه بالنظر من خلال الغلاف الزجاجي للسفينة . وبعد ان خطا عدة خطوات الى الامام ، توقف دقيقة نظر خلالها الى ما يحيط به ، ثم اتخذ قرارا وقفز الى الامام .

وقد شوه الزجاج منظر حركته ، ولكن بدا لي ، أن قفزته كانت في الحقيقة كبيرة جدا . وقد اصبح كيفور بعدها ، يبعد عني بمسافة تتراوح بين ٦ — ١٠ م . ثم وقف على صخرة ما ، واخذ يوجه الي بعض الاشارات ، ويحتمل ان يكون قد ناداني — ولكن صوته لم يصلني ... ! وكيف استطاع كيفور القيام بهذه القفزة ؟ ولما تملكتني الحيرة ، اخرجت جسمي من النافذة ، وهبطت الى الاسفل ايضا ، ووجدت نفسي على حافة حفرة غطتها الثلوج . وعندما خطوت الى الامام ، وجدت انني قد قفزت .

وشعرت بانني اطير ، وسرعان ما وجدت نفسي بالقرب من الصخرة ، التي انتظرني عليها كيفور . وقد تملكتني رعشة رهيبة ، وانا اتشبث بتلك الصخرة .

وانحنى كيفور وهو يناديني بصوت عال ، ويطلب مني ان اكون حذرا . انني نسيت بان الجاذبية على سطح القمر ، اقل بست مرات من الجاذبية الارضية . والامر الواقع بالذات ، هو الذي جعلني اتذكر ذلك .

وبعد ان ضبطت حركاتي ، صعدت الى قمة الصخرة بحذر ، ومشيت مثلما يمشي المصاب بالروماتيزم ، حتى وصلت الى القمة المشمسة واصبحت بقرب كيفور . وكانت السفينة مستقرة على كثيب ثلجيّ ، آخذ في الذوبان ، على بعد ثلاثين قدما من البقعة التي نقف عليها .

وقلت لكيفور وانا التفت اليه :

— انظر !

ولكن كيفور كان قد اختفى .

ووقفت برهة بعد ان اذهلتنى المفاجأة ، ثم اردت ان القى نظرة الى ما وراء حافة الصخرة ، فخطوت الى الامام بسرعة ، ونسيت تماما باننى موجود على سطح القمر . ان الجهد الذى بذلته ، كان سيدفعنى الى الامام لمسافة متر واحد فقط ، فى حالة وجودى على سطح الكرة الارضية . اما على سطح القمر ، فقد دفعنى الى الامام ، لمسافة ستة امتار ، وبذلك وجدت نفسى وراء حافة الصخرة ، بمسافة خمسة امتار .

وقد شعرت بالتحليق فى الفضاء ، مثلما يشعر النائم ، عندما يرى فى حلمه انه يسقط فى الهاوية . عند سقوط الانسان على سطح الارض ، فانه يقطع مسافة قدرها ٥ م فى الثانية الاولى من سقوطه ، اما على سطح القمر فانه يقطع مسافة قدرها ٨٠ سم فقط . ولهذا السبب ، هبطت الى الاسفل برفق ، من ارتفاع قدره ٩ م . وقد تهيأ لى بان هبوطى استغرق مدة طويلة ، مع انه لم يدم اكثر من ثلاث ثوان . لقد سبحت فى الهواء وهبطت الى الاسفل برفق ، مثل الزغابة ، ولكنى غطت حتى ركبتى فى الكثيب الثلجى ، الموجود فى اسفل الوادى الصخرى .

وصرخت مناديا صديقى وانا انظر حولى :

— كيفور !

ولكننى لم اجد اى اثر له ، فكررت ندائى بصوت عال :

— كيفور !

وفجأة رأيته ، كان يضحك وهو يشير الىّ بحركات من يديه ، بينما كان واقفا على صخرة جرداء تبعد عنى مسافة عشرين مترا . ولم استطع سماع صوته ، ولكننى فهمت اشاراته ، فقد طلب منى ان اقفز نحوه .

اما انا فقد ترددت فى القيام بذلك ، حيث ظهر لى بان المسافة التى تفصلنى عنه ، كبيرة جدا . ولكننى سرعان ما ادركت بانه طالما كان فى وسع كيفور ، القيام بمثل هذه القفزة ، فسوف استطيع بدورى ان افعل ذلك ايضا . وقفزت بكل قوتى ، منطلقا مثل السهم فى الهواء ، حتى ظننت باننى لن اهبط الى الاسفل ابدا . وقد كان هذا

طيرانا خياليا ، مريعا كما في الاحلام ، ولكنه في نفس الوقت ، ممتع الى درجة مدهشة . وقد ظهر بان القفزة كانت قوية جدا ، بحيث جعلتني اطير فوق رأس صديقي كيفور » .

الرماية على سطح القمر

ان المشهد التالي ، المقتبس من رواية المخترع السوفييتي النابغ قسطنطين تسيولكوفسكي « على سطح القمر » ، يساعدنا على استجلاء شروط الحركة ، تحت تأثير قوة الجاذبية . ان جو الارض ، يعرقل حركة الاجسام فيه ، وبذلك يخفي عنا قوانين السقوط البسيطة ، لانه يجعلها اكثر تعقيدا ، باضافة شروط زائدة اليها .

اما على سطح القمر ، فلا وجود للهواء اطلاقا . وكان من الممكن اتخاذ القمر بمثابة مختبر رائع لدراسة سقوط الاجسام ، لو استطعنا الوصول اليه ، وقمنا باجراء الابحاث العلمية على سطحه .

والآن ، نعود الى مشهد الرواية المذكورة ، ونوضح بان الحديث يجري بين رجلين على سطح القمر ، يريدان استقصاء حركة الرصاصة ، المنطلقة من البندقية .

« — هل سيشتعل البارود هنا ؟

— ان المواد المتفجرة ، يجب ان تكون اقوى مفعولا في الفراغ ، مما هي عليه في الهواء ، وذلك لان الهواء يعرقل تمددها . اما فيما يتعلق بالاكسيجين ، فان المواد المتفجرة لا تحتاج اليه ، لان كل الكمية اللازمة منه ، موجودة في تركيب هذه المواد بالذات .

— لنضع البندقية بصورة عمودية ، لكي نتمكن من العثور على الرصاصة بالقرب منا ، بعد انطلاقها من البندقية .

وهنا تندلع شرارة من نار ، ويسمع صوت خافت * ، وتحدث هزة خفيفة في التربة .

---

* لان الصوت ينتقل في هذه الحالة ، خلال التربة وجسم الانسان ، وليس خلال الهواء ، الذي ليس له وجود على القمر .

ـ اين الحشوة ؟ يجب ان تسقط هنا بالقرب منا .

ـ ان الحشوة طارت مع الرصاصة ، ولا يحتمل ان تنفصل عنها الا بصعوبة ، وذلك لان جو الارض وحده ، هو الذى يعرقل لحاقها بالرصاصة ؛ اما هنا فحتى الزغب يهبط الى الاسفل ويسنطلق الى الاعلى ، بنفس قوة هبوط وانطلاق الحجر . خذ زغابة ـ ريشة ـ ناتئة من مخدة ما ، وسوف آخذ انا كرة من حديد الزهر . وسترى ان باستطاعتك ان ترمى احد الاهداف البعيدة ، بهذه الزغابة ، وتصيبه بسهولة ، كما اصيبه انا بهذه الكرة . واستطيع عندما تكون الجاذبية قليلة ، ان ارمى الكرة الى مسافة ٤٠٠ م ، وتستطيع بدورك رمى الزغابة الى نفس المسافة ايضا . وفى الحقيقة ، لن تقتل احدا ما ، حتى انك عندما ترميها لن تشعر بانك ترمى شيئا من يدك . والآن لنرم قذائفنا بكل ما لدينا من قوة ـ وقوتى لا تختلف كثيرا عن قوتك ـ على هدف واحد ، وليكن مثلا ، ذلك الحجر الجرانيتى الاحمر ...

ان الزغابة سبقت الكرة الحديدية قليلا ، كما لو كانت متأثرة بعاصفة قوية .

ـ ما هذا ؟ لقد مضت ثلاث دقائق على اطلاق الرصاصة ، ومع ذلك لم تسقط لحد الان !

ـ لننتظر دقيقتين اخريين ؛ ربما تعود الرصاصة الينا بعد ذلك .

وبعد مضى دقيقتين بالفعل ، شعرنا بهزة خفيفة فى التربة ، ورأينا الحشوة تسقط على مقربة منا .

ـ لقد استغرق طيران الرصاصة زمنا طويلا ! ما هو الارتفاع الذى وصلت اليه ؟

ـ انها وصلت الى ارتفاع سبعين كيلومترا . وهذا الارتفاع يعود الى قلّة الجاذبية ، والى انعدام مقاومة الهواء » .

والآن لنتحقق من هذا الكلام . اذا اعتبرنا ان سرعة الرصاصة فى لحظة انطلاقها من سبطانة البندقية ، بلغت ٥٠٠ م/ثا ، وهو رقم متواضع (لان سرعة انطلاق الرصاصة من البنادق الحديثة تزيد على ذلك بمرة ونصف) ، فانها سترتفع فوق سطح الارض ، فى حالة انعدام المحيط الجوى ، الى مسافة تساوى :

$$ع = \frac{س^{٢}}{٢ج} = \frac{٥٠٠^{٢}}{٢ \times ١٠} = ١٢٥٠٠ \text{ م ،}$$

اى الى مسافة ٥ر١٢ كم. اما على سطح القمر ، حيث تكون قوة الجاذبية أضعف من ذلك بست مرات ، فنعوض عن ج بالرقم $\frac{١٠}{٦}$. وبذلك يكون الارتفاع الذى تصل اليه الرصاصة ، مساويا للمقدار :

١٢٥٠٠ × ٦ = ٧٥ كم ٠

بئر ليس لها قرار

اننا لا نعلم حتى الان ، الا شيئا قليلا جدا مما يحدث فى بواطن الارض العميقة . ويتصور بعض الناس ان هناك كتلة منصهرة ، تقع على عمق مائة كيلومتر من قشرة الارض الصلبة ؛ ويرى الاخرون بان الكرة الارضية برمتها ، هى كتلة صلبة حتى المركز . ومن الصعوبة تأكيد هذه الاراء بصورة قاطعة ، لان أعمق بئر لا تمتد فى باطن الارض الى أكثر من ٥ر٧ كم ، وأعمق منجم استطاع الانسان ان يتوغل فيه ، يقع على عمق ٣٣٠٠ م من سطح الارض * ، اما نصف قطر الكرة الارضية فيساوى ٦٤٠٠ كم . ولو كان بوسعنا حفر بئر تخترق الكرة الارضية بصورة نافذة ، وتقطعها بامتداد قطرها ، لامكننا عندئذ اعطاء رأى قاطع حول الموضوع . والتكنيك الحديث ، أبعد ما يكون عن امكانية تحقيق مثل هذه الاعمال فى الوقت الحاضر — مع ان مجموع أطوال كافة الابار المحفورة فى باطن الارض ، يزيد على طول قطر الكرة الارضية .

وقد كان كل من العالم الرياضى موبيرتوى والفيلسوف فولتير (فى القرن الثامن عشر) ، يحلم بحفر نفق نافذ خلال الكرة الارضية . وبعد ذلك بزمن ، عاودت الفلكى الفرنسى فلاماريون نفس الفكرة ، ولكن بصورة أكثر تواضعا ؛ ونقدم للقراء هنا ، الرسم الذى عرضه فلاماريون مع مقالته المكرسة لهذا الموضوع (شكل ٤٢) .

وبالطبع لم يحدث أى شئ من هذا القبيل لحد الان ؛ ولكننا سنفترض وجود مثل هذه البئر ، التى ليس لها قرار ، لنتمكن من دراسة احدى المسائل الطريفة .

---

* ان فتحة هذا المنجم ، وهو منجم الذهب الموجود فى منطقة بوكسبورج (ترانسفال — جنوب افريقيا) ، تقع على ارتفاع ١٦٠٠ م عن سطح البحر ؛ اى ان عمق المنجم يساوى ١٧٠٠ م تحت سطح البحر .



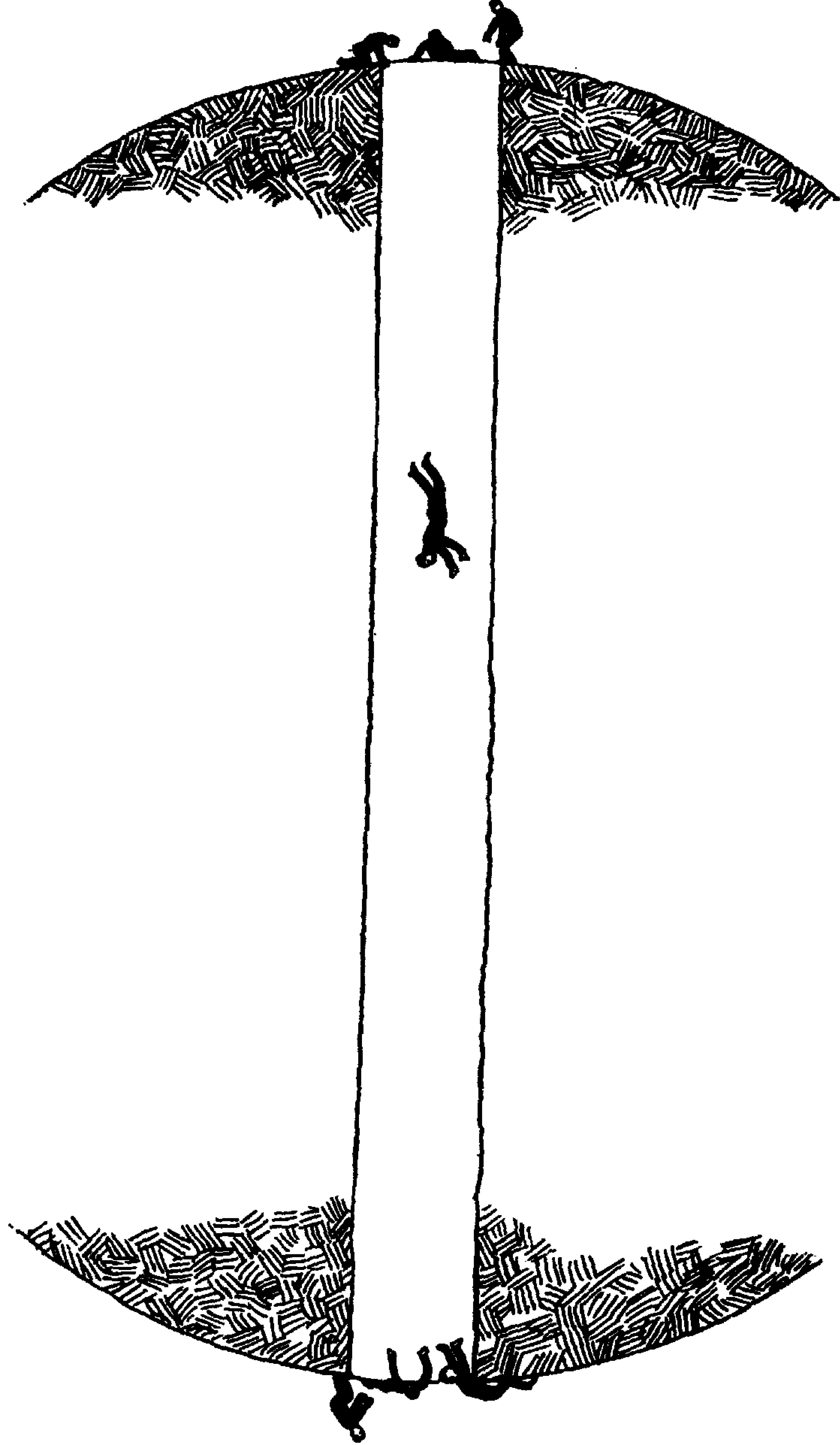
شكل ٤٢ : هل يمكننا ان نحفر فى هذا الموضع بئرا تخترق الكرة الارضية على امتداد قطرها ؟

والآن لنسأل القارئ : ما هى الاشياء التى تتوقع ان تحدث لك ، فى حالة سقوطك فى مثل هذه البئر التى ليس لها قرار ؟ (سوف نتجاهل مقاومة الهواء ، موقتا) . وهنا لا يمكنك ان تصطدم بالقاع وتتهشم ، لان البئر ليس لها قاع — اين ستستقر اذن ؟

هل ستستقر فى مركز الارض ؟ بالطبع لا ، ذلك لانه عند وصولك الى المركز ، تكون سرعة سقوط جسمك قد بلغت حدا كبيرا جدا (٨ كم/ثا) ، الامر الذى يجعل وقوفك فى تلك النقطة ، شيئا مستحيلا . وهكذا سوف تستمر فى سقوطك الى الاسفل ، مع تخفيف سرعة السقوط تدريجيا ، الى ان تصل الى مستوى حافات فتحة البئر المقابلة . وهنا يجب عليك ان تتشبث قويا بحافة البئر ، والا سقطت فيها مرة ثانية وعدت ادراجك الى الفتحة الاولى . واذا لم تستطع فى هذه المرة ايضا ان تتشبث بشئ ما ، فسوف تعاود السقوط ثانية ، وتبقى على هذه الحالة من الذهاب والاياب ، الى ما لانهاية . وهذا هو نفس الشئ الذى توكده قوانين الميكانيكا ، القائلة بان الجسم فى هذه الحالة (عند اهمال مقاومة الهواء فى داخل البئر) يجب ان يتأرجح بين الفتحتين باستمرار * .

ما هى المدة التى كانت ستستغرقها عملية السقوط ذهابا وايابا ؟ كانت هذه العملية ستستغرق ٨٤ دقيقة و ٢٤ ثانية ، اى ساعة ونصف تقريبا .

* اما عند وجود مقاومة الهواء ، فان التارجح سيهدأ بالتدريج ، وينتهى الامر بتوقف الجسم فى مركز الارض .



شكل ٤٣ : اذا سقط الانسان فى بئر تخترق الكرة الارضية وتمر مركزها من فسوف يتأرجح فى داخل البئر من طرف الى آخر بلا توقف ، وسوف يستغرق ٨٤ دقيقة لقطع المسافة بين طرفى البئر فى كل مرة .

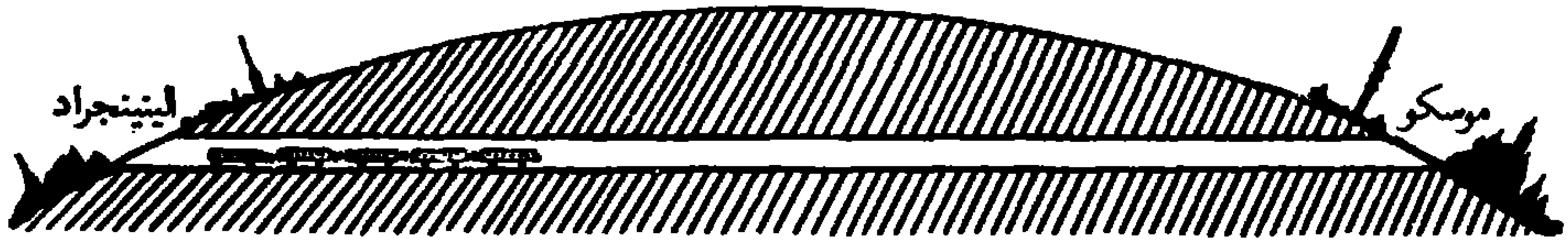
ويستمر فلاماريون في حديثه قائلا : « كان الامر سيكون على هذه الحالة ، لو حفرت البئر بامتداد محور الارض ، من قطب الى آخر . ولكن اذا نقلنا فتحة البئر الاولى الى اى خط عرض اخر في اوربا او اسيا او افريقيا ، فيجب علينا فى هذه الحالة ان نأخذ فى الاعتبار تأثير دوران الارض . ومن المعروف ان كل نقطة من نقاط سطح الارض ، الواقعة عند خط الاستواء ، تدور بسرعة ٤٦٥ م/ثا ، والواقعة على خط العرض الذى تقع عليه مدينة باريس ، تدور بسرعة ٣٠٠ م/ثا . وبما ان السرعة المحيطية تزداد كلما ابتعدنا عن محور الدوران ، فان الكرة الرصاصية المرمية فى البئر مثلا ، لا تسقط بصورة عمودية ، بل تنحرف قليلا نحو الشرق . واذا حفرنا بئرا بلا قاع ، عند خط الاستواء ، فيجب اما ان تكون واسعة للغاية ، او ان تكون شديدة الميل ، لان الجسم الساقط من سطح الارض سينحرف عن مركزها ، متبعدا نحو الشرق .

واذا كانت فتحة الدخول لتلك البئر ، واقعة على احدى هضاب امريكا الجنوبية ، على ارتفاع يبلغ ٢ كم مثلا ، وكانت الفتحة المقابلة واقعة فى مستوى المحيط ، فان الشخص الذى يسقط فى الفتحة الامريكية ، سيصل الى الفتحة المقابلة بسرعة كبيرة ، تجعله يخرج منها ويرتفع فى الجو الى مسافة قدرها ٢ كم .

اما اذا كانت الفتحتان واقعتين فى مستوى المحيط ، لأمكن عندئذ ان نمسك الشخص الساقط فى البئر من يده ، عند خروجه من الفتحة المقابلة ، حيث تكون سرعته مساوية للصفر . وبالنسبة للحالة السابقة، يجب ان نحذر من القيام بمسك يد ذلك المسافر ، الخارج من الفتحة بسرعة كبيرة جدا » .

طريق وهمى

صدر ذات مرة فى مدينة بتربورج (لينينجراد حاليا) ، كراس يحمل العنوان الغريب التالى : « سكة حديدية للتسيير الذاتى بين مدينتى بتربورج وموسكو — رواية خيالية تتألف من ثلاثة فصول ، لم تنته بعد » . وقد اقترح مؤلف الرواية رودنيخ ، مشروعا طريفا ، نقدمه هنا ليتعرف عليه هواة التناقضات الظاهرية فى علم الفيزياء .



شكل ٤٤ : اذا حفرنا نفقا بين مدينتى لينينجراد وموسكو ، لرأينا بان القطارات التى تسير فى داخله ذهابا وايابا ستتحرك بتأثير وزنها الذاتى ، دونما حاجة الى قاطرات لسحبها .

يتلخص المشروع « فى مد نفق طوله ٦٠٠ كم ، يصل عاصمتى روسيا بخط مستقيم تماما ، يمتد فى باطن الارض . وبهذا الشكل ، سوف يستطيع الانسان لاول مرة فى التاريخ ، ان يسافر على طريق مستقيم ، ويتجنب الطرق الملتوية ، التى يسلكها حتى الآن » . (يريد المؤلف ان يقول بان كافة الطرق الموجودة على سطح الارض ، مقوسة تبعا لتقوس سطح الارض ، بينما سيكون النفق المقترح ؛ مستقيما تماما — حيث يمر بالوتر) .

ولو أمكن حفر مثل هذا النفق ، لكانت له خاصية مدهشة ، لا يتصف بمثلها اى طريق آخر فى العالم . وتتلخص هذه الخاصية فى حتمية سير كافة أنواع العربات سيرا ذاتيا (بلدون محركات) فى داخل ذلك النفق . ان نفق لينينجراد — موسكو ، يشبه تماما تلك البئر التى اخترقت الكرة الارضية برمتها ، مع فارق واحد هو انه لا يمر بقطر الارض ، بل يمر بالوتر . وفى الحقيقة ، عندما ننظر الى الشكل ٤٤ ، يبدو لنا كأن النفق محفور بصورة أفقية ، وهذا يجعلنا نتصور بان قوة الجاذبية سوف لا تؤثر على القطار ولا تدحرجه على ذلك الطريق . ولكن هذا مجرد خداع بصر ، لاننا اذا قمنا ذهنيا بمد أنصاف الاقطار الى طرفى النفق (ان اتجاه أنصاف الاقطار هو نفس اتجاه الخط الرأسى) ، لأدركنا عندئذ بان النفق لم يحفر بصورة عمودية على الخط الرأسى ، اى انه ليس افقيا ، ولكنه مائل .

وفى مثل هذه البئر المائلة ، يجب ان يرجح الجسم الى الامام والى الخلف ، متأثرا بقوة الجاذبية ، مع محاولته الدائمة للالتصاق بالقاع . واذا مددنا فى داخل النفق

سكة حديدية ، فان العربات سوف تتدحرج ذاتيا على تلك السكة ، حيث سيلعب وزن العربات ، دور القاطرة الساحبة . وفي بداية الامر ، سيتحرك القطار بصورة بطيئة جدا . ومع مرور كل ثانية ، تزداد سرعة القطار الذاتي الحركة ، حتى تصل بعد مدة قصيرة ، الى حد لا يتصوره العقل ، بحيث تصبح مقاومة الهواء لحركة القطار محسوسة . ولكننا سوف لا نفكر الان (مؤقتا) ، بهذه العقبة المزعجة ، التي تحول دون تحقيق الكثير من المشاريع المغرية ، وسوف نقوم بمتابعة سير القطار . عندما يمر هذا القطار المندفع في منتصف النفق ، تكون سرعته قد وصلت الى حد كبير للغاية — اكبر من سرعة انطلاق قذيفة المدفع بعدد كبير من المرات — بحيث يمكنه باندفاعه هذا ، الوصول الى الطرف الاخر للنفق تقريبا . ولولا وجود الاحتكاك ، لما ذكرنا هنا كلمة « تقريبا » ، ولوصل القطار من لينينجراد الى موسكو باندفاعه الذاتي ، دون ان يحتاج الى قاطرة . ويشير الحساب الى ان الوقت الذي سيستغرقه القطار المذكور في قطع النفق من طرف الى آخر ، هو نفس الوقت الذي كان سيستغرقه سقوط الشخص الى مركز الارض ، خلال نفق محفور يمر بقطرها ويصل بين قطبيها ، اي ٤٢ دقيقة و١٢ ثانية . ومن الغريب جدا ، ان هذا الوقت لا يعتمد على طول النفق ؛ فان الانتقال خلال نفق موسكو — لينينجراد ، او نفق موسكو — فلاديفستوك ، او نفق موسكو — ملبورن ، كان سيستغرق نفس الوقت المذكور * .

وكان نفس الشيء الذي حدث للقطار ، سيحدث لكل من الترولي وعربة النقل والسيارة ، وغيرها من وسائل النقل الاخرى . والحق يقال ، ان هذا الطريق الوهمي ، يعمل بوضعيته الثابتة ، على تسيير كافة وسائل النقل من احد طرفيه الى الطرف الاخر ، بسرعة لا يمكن تصورها !

---

* ويمكننا ان نذكر هنا حقيقة اخرى لا تقل طرافة عن ذلك ، وهي تتعلق بالبئر التي ليس لها قرار : ان الوقت الذي يستغرقه السقوط ذهابا وايابا ، لا يعتمد على حجم الكوكب ، بل يعتمد على كثافته فقط .

كيف تحفر الانفاق

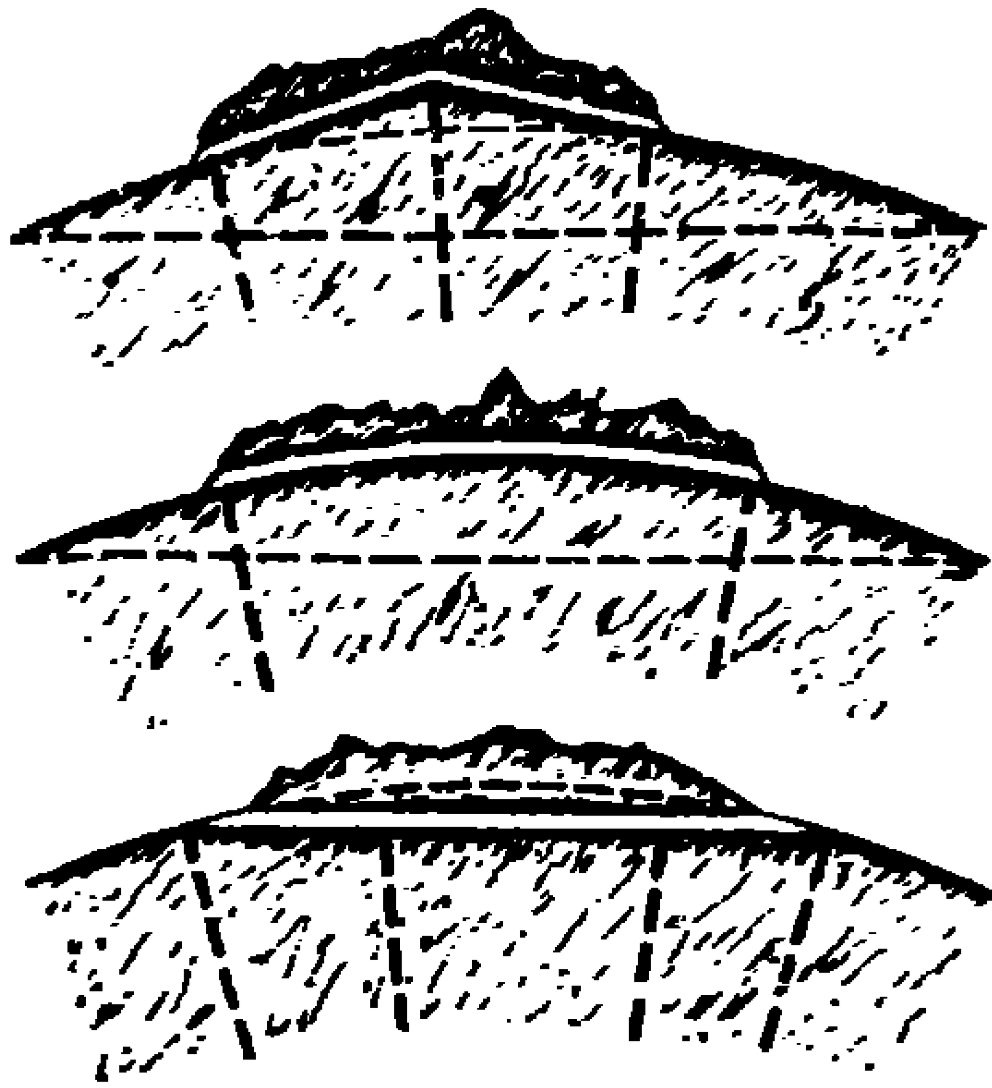
انظر الى الشكل ٤٥ ، الذى يمثل ثلاث طرق لحفر ومد الانفاق ، ثم عيّن النفق الذى تعتقد بأنه محفور بصورة أفقية !

انه ليس النفق العلوى ولا السفلى ، بل هو النفق الاوسط ، المار بالقوس ، الذى يشكل فى كافة نقاطه زوايا قائمة مع اتجاهات الخطوط الرأسية (او انصاف أقطار الكرة الارضية) . وهذا هو النفق الافقى بالذات ـ لان تقوسه يطابق تقوس سطح الارض تماما .

وعادة، تحفر الانفاق الطويلة، بالطريقة المبينة فى أعلى الشكل ٤٥، على هيئة خطوط مستقيمة ، بحيث تكون نقاط النفق الطرفية ـ أطرافه ـ مماسة لسطح الارض . وهذا النفق يرتفع فى البداية الى الاعلى قليلا ، ثم ينزل بعد ذلك الى الاسفل . ولا يركد الماء فى مثل هذا النفق ، بل يجرى ذاتيا الى الاسفل نحو الاطراف .

واذا حفر النفق بصورة أفقية تماما ، لأصبح النفق الطويل مقوسا ، ولما تمت عملية تصريف الماء بصورة تلقائية، وذلك لان الماء سيكون فى حالة توازن فى كل نقطة من نقاط ذلك النفق. وعندما يزيد طول النفق على ١٥ كم (ان طول نفق سيمبلون مثلا، يبلغ ٢٠ كم) ، لا يستطيع الشخص الواقف عند احد طرفيه روءية الطرف الثانى. ان هذا الشخص سيرى سقف النفق من الداخل فقط ، وذلك لان النقطة المركزية لمثل هذا النفق ، أعلى من نقاطه الطرفية بمقدار ٤ م .

وأخيرا ، اذا حفرنا نفقا على هيئة خط مستقيم ، يصل بين نقطتيه النهائيتين ، فسيكون لطرفيه ميل خفيف الى الاسفل ، نحو المركز . وسوف لا تتم عملية تصريف الماء



شكل ٤٥ : ثلاث طرق لحفر الانفاق التى تخترق الجبال .

فی هذه الحالة ، بل سیحدث العکس ، اذ سیتجمع الماء فی أکثر أقسام النفق انخفاضا ، وهو المرکز . الا ان الشخص الواقف عند احد طرفی هذا النفق ، سیتمکن من رؤية الطرف الثانی . والرسوم المبینة فی الشکل السابق ، توضح حقیقة ما ذکرناه (ینتج من حدیثنا هذا ان جمیع الخطوط الافقیة تکون فی الواقع منحنیة ، ولا وجود للخطوط الافقیة المستقیمة . اما الخطوط العمودیة ، فانها علی العکس من ذلك ، یجب ان تکون مستقیمة فقط) .

الفصل الخامس | # السفر فى داخل قذيفة المدفع

فى ختام حديثنا عن قوانين الحركة وقوة الجاذبية نانى الى بحث تلك الرحلة الخيالية الى القمر ، التى وصفها جول فيرن وصفا ممتعا فى روايتيه المعنونتين « من الارض الى القمر » و « حول القمر » . اذا كان القارئ مطلعا على هاتين الروايتين ، فلا بد وان يتذكر بالطبع ، ان اعضاء نادى المدفع فى بالتيمور ، قرروا بعد انتهاء الحرب الاهلية فى امريكا الشمالية ، ان يصنعوا مدفعا عملاقا ، ويطلقوا بواسطته قذيفة مجوفة الى القمر ، بعد جلوس الركاب فى داخلها .

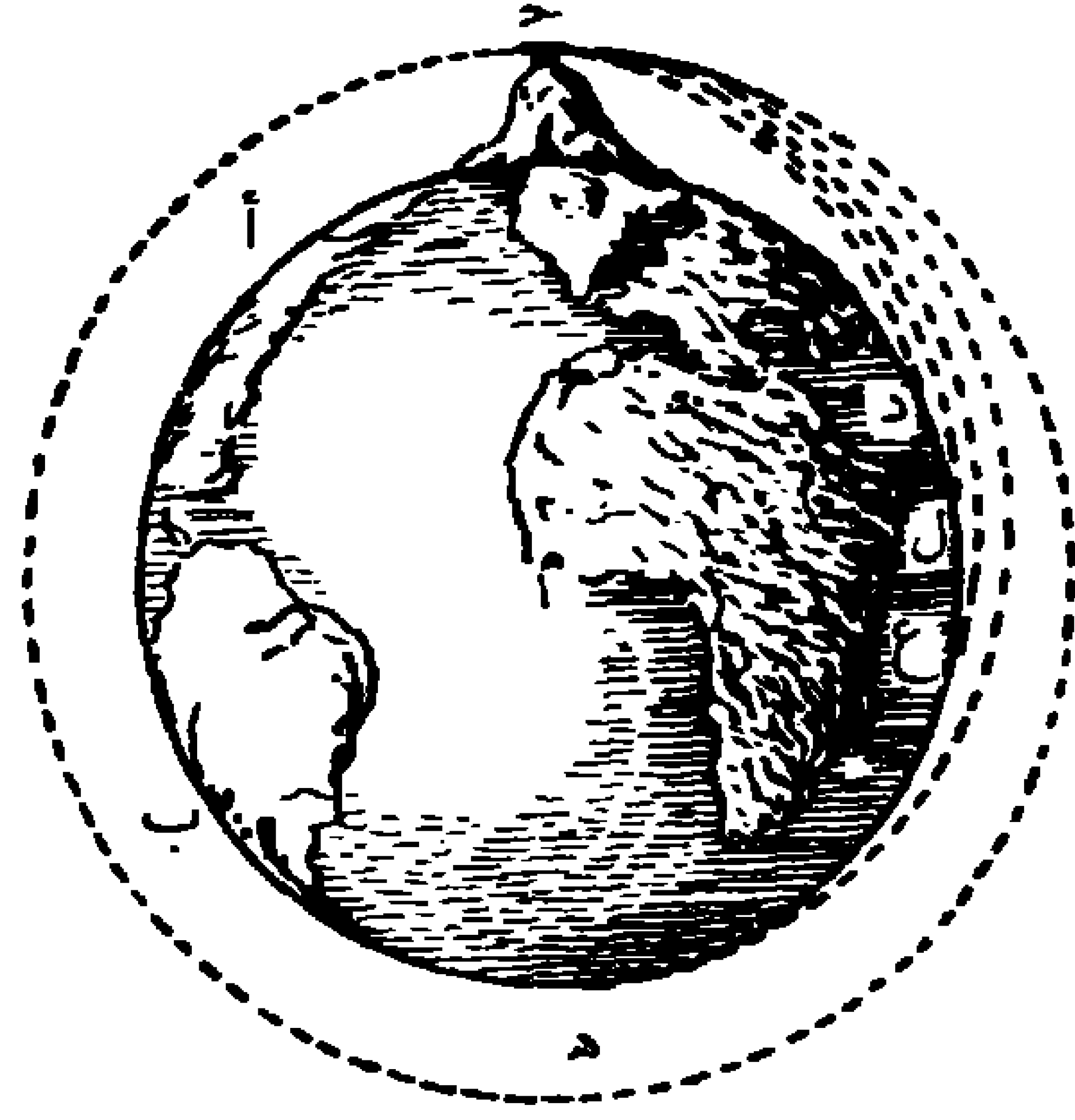
اليست هذه فكرة خيالية ؟ قبل كل شى ، هل يمكننا ان نكسب الجسم ، سرعة كافية ، تجعله يغادر سطح الارض ولا يعود اليه ثانية ؟

جبل نيوتن

ويتحدث حول هذا الموضوع ، العالم العبقرى الشهير نيوتن ، مكتشف قانون الجاذبية العام ، فى مجموعة ابحاثه المعنونة (المبادئ الرياضية لعلم الفيزياء) ، فيقول :

« ان الحجر المرمى فى الهواء ، لا يسقط الى الارض بخط مستقيم ، ولكنه ينحرف عن ذلك متأثرا بقوة الجاذبية ، ويرسم بسقوطه خطا منحنيا . واذا رمينا الحجر بسرعة كبيرة ، فانه سيصل الى مسافة ابعد ؛ ويمكن فى هذه الحالة ان يرسم قوسا يبلغ طوله ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ ميل ، واخيرا يخرج عن نطاق الارض ولا يعود اليها ثانية . لنفرض ان أ ع ب (شكل ٤٦) ، تمثل سطح الارض ، وان م — المركز . اما الاقواس

حـ د ، حـ ل ، حـ ع و حـ هـ فتمثل الاقواس التى يرسمها الجسم المقذوف فى اتجاه افقى ، من قمة احد الجبال العالية جدا ، بسرعة متزايدة . وسوف نهمل مقاومة الهواء فى هذه الحالة ، اى سنفرض ان الهواء غير موجود مطلقا . وعندما تكون السرعة الابتدائية قليلة نسبيا ، يرسم الجسم الساقط ، القوس حـ د ، وعند سرعة اكبر — القوس حـ ل ، وعند سرع اكبر من ذلك — القوسين حـ ع وحـ هـ . وعند وصول السرعة الى حد معين ، يدور الجسم حول الكرة الارضية برمتها ، ويعود ثانية الى قمة الجبل ، التى قذف منها . وبما ان سرعة الجسم عند عودته الى نقطة انطلاقه الاولى ، سوف لا تقل عن السرعة التى قذف بها فى البداية ، فان الجسم سيستمر فى حركته على نفس المدار » .



شكل ٤٦ : كيفية سقوط الاحجار المرمية من قمة الجبل بسرعة هائلة فى الاتجاه الافقى .

واذا فرضنا وجود مدفع على قمة هذا الجبل الخيالى ، فان القذيفة التى ستطلق منه بسرعة معينة ، لن تسقط على الارض مطلقا ، بل ستبقى مستمرة فى دورانها حول الكرة الارضية ، بلا توقف .

وباجراء بعض العمليات الحسابية البسيطة * ، نرى ان الظاهرة المذكورة ، تحدث عندما تصل سرعة الجسم الى ٨ كم/ثا تقريبا . وبعبارة اخرى ، فان القذيفة المنطلقة من المدفع بسرعة قدرها ٨ كم/ثا ، تخرج من نطاق الارض نهائيا ، وتدور حولها مثل قمر اصطناعى . كما ان سرعة دورانها ستزيد بسبع عشرة مرة ، على سرعة دوران اية نقطة على خط الاستواء ، وستدور حول الارض دورة واحدة فى كل ساعة واربع وعشرين دقيقة .

* راجع الفصل الثانى من « الفيزياء المسلية » — الكتاب الاول .

اما اذا اطلقت القذيفة بسرعة تزيد على السرعة المذكورة هنا ، فسوف لا يكون مدارها حول الارض دائريا ، بل سيكون اهليلجيا ممطوطا نوعا ما ، بعد ان تبتعد عن سطح الارض بمسافة شاسعة . وعند سرعة ابتدائية اكبر من السرعة السابقة ، تنفصل القذيفة نهائيا عن الكرة الارضية ، وتسبح في الفضاء الكوني الخارجي . وتحدث هذه الظاهرة عندما تصل السرعة الابتدائية للقذيفة الى ١١ كم/ثا تقريبا . (ان القذائف التي نقصدها في هذه الاحاديث ، هي القذائف التي تتحرك في الفراغ لا في الهواء) .

ولنرى الآن ، هل يمكن القيام برحلة الى القمر ، بالوسائل التي اقترحها جول فيرن ، ام لا . ان القذيفة المنطلقة من احدث المدافع ، تكتسب في الثانية الاولى من انطلاقها ، سرعة لا تزيد على ٢٫٠ كم/ثا . وهذه السرعة تقل عن السرعة التي يحتاجها الجسم للتحليق الى القمر بخمس مرات . وقد فكر ابطال قصص جول فيرن ، بانهم اذا صنعوا مدفعا عملاقا ، وعبأوه بشحنة كبيرة من المواد المتفجرة ، فسيكون باستطاعتهم اطلاق القذيفة بسرعة كافية للوصول الى القمر .

المدفع الخيالي

وهكذا عكف اعضاء نادي المدفع في بالتيمور ، على صنع مدفع عملاق ، طوله ٢٥٠ م ، وثبتوه في الارض بصورة عمودية . وصنعوا طبقا لذلك ، قذيفة هائلة تحتوي في داخلها على حجرة للركاب . وقد بلغ وزن هذه القذيفة ٨ اطنان . ثم عبأوا المدفع بشحنة من المواد المتفجرة ، بلغ وزنها ١٦٠ طنا . ونتيجة للانفجار — كما يقول مؤلف الرواية — تكتسب القذيفة سرعة قدرها ١٦ كم/ثا ، ولكن احتكاكها بالهواء يخفض السرعة المذكورة الى ١١ كم/ثا . وهكذا ، بوصول هذه القذيفة الى الفضاء الخارجي ، تصبح سرعتها كافية للتحليق الى القمر .

هذا هو المشروع الذي يقدمه لنا جول فيرن . والآن ما هي وجهة نظر الفيزياء ، حول هذا الموضوع ؟

ان مشروع جول فيرن قابل للانتقاد ، ولكن ليس من الناحية التي تتبادر عادة الى ذهن القارئ . اولا — يمكن ان نثبت بان المدافع التي تستخدم البارود ، لن تطلق

القذيفة بسرعة تزيد على ٣ كم/ثا ، مهما كلف الامر . وثانيا – ان جول فيرن لم يأخذ في الاعتبار مقاومة الهواء ، التى تصبح عند هذه السرعة الهائلة ، كبيرة جدا بحيث تغيّر مسار القذيفة تغييرا تاما .

وبالاضافة الى ذلك ثمة عدد من الاعتراضات المهمة على مشروع التحليق الى القمر فى داخل قذيفة المدفع .

ان المحاذير الاساسية تنجم فى هذه الحالة ، عن المصير الذى سيلاقيه الركاب انفسهم . ويجب الا يفكر القارئ، بان الركاب سيتعرضون للخطر اثناء رحلتهم من الارض الى القمر . فاذا تمكنوا من البقاء على قيد الحياة ، حتى اللحظة التى تلى انطلاق القذيفة من فوهة المدفع ، فانهم سوف لا يتعرضون بعد ذلك لاى خطر اثناء الرحلة . ان السرعة الهائلة ، التى سيندفع بها الركاب فى الفضاء الكونى وهم فى داخل القذيفة ، سوف لا تشكل اى خطر بالنسبة لهم ، كما لا تشكل سرعة دوران الارض حول الشمس – وهي اكبر من سرعة القذيفة – اى خطر بالنسبة لسكان الكرة الارضية .

القبعة الثقيلة

ان اخطر لحظة بالنسبة لركاب القذيفة المذكورة ، تتمثل فى تلك الاجزاء المئوية القليلة من الثانية ، التى يستغرقها مرور القذيفة فى سبطانة المدفع . وسبب ذلك ، هو ان سرعة القذيفة يجب ان تزداد فى تلك الفترة الزمنية الضئيلة ، من الصفر الى ١٦ كم/ثا . وليس عبثا ان تخبرنا القصة بان الركاب انتظروا لحظة اطلاق القذيفة بهلع شديد . وقد كان باربيكين على حق تماما ، عندما اكد بان لحظة اطلاق القذيفة ستكون على درجة كبيرة من الخطورة بالنسبة للركاب ، لا تقل عن تلك التى كان سيتعرض لها الركاب ، لو لم يكونوا فى داخل القذيفة ، بل امامها . وفى الحقيقة ، كانت ارضية القذيفة – فى لحظة انطلاقها – ستصدم الركاب من الاسفل ، بنفس القوة التى تصدم بها القذيفة اى جسم يقف فى طريقها . اما ابطال القصة ، فلم يأبهوا بهذا الخطر ، وفكروا بان اسوأ ما سيتعرضون اليه من المخاطر ، لا يتعدى احتقان الدم فى الرأس ...

ولكن الامر فى الحقيقة ، اخطر من ذلك . ان القذيفة تتحرك فى داخل سبطانة المدفع بتسارع كبير ، وتزداد سرعتها بتأثير الضغط المستمر ، للغازات المتحررة عند انفجار البارود . وتزداد هذه السرعة خلال جزء ضئيل من الثانية ، من الصفر الى ١٦ كم/ثا . وللسهولة ، نفرض بان زيادة السرعة تتم بصورة منتظمة . عندئذ نرى ان مقدار التسارع اللازم لرفع سرعة القذيفة فى فترة زمنية ضئيلة للغاية من صفر الى ١٦ كم/ثا ، يصل فى هذه الحالة الى ٦٠٠ كم/ثا٢ ، تقريبا (طريقة الحساب مبينة على الصفحة ١٠٦).

ونستطيع ادراك المخاطر المهلكة ، التى تختفى وراء هذا الرقم ، اذا تذكرنا بان التسارع العادى لقوة الجاذبية على سطح الارض ، يساوى ١٠ م/ثا٢ فقط* .

ونستنتج من ذلك ، ان كل جسم موجود فى داخل القذيفة ، سيقوم فى لحظة الانطلاق ، بالضغط على ارضية الصالة ، بقوة تزيد على وزن ذلك الجسم بمقدار ٦٠٠٠٠ مرة . وبعبارة اخرى ، سيشعر الركاب بان وزنهم قد زاد بعشرات الآلاف من المرات ! وكان الركاب سيتهشمون فى الحال ، تحت تأثير مثل هذه الجاذبية الهائلة . وكان وزن قبعة السيد باربيكين وحدها ، سيصل فى لحظة الانطلاق الى ١٥ طنا — الامر الذى يجعل مثل هذه القبعة ، كافية لتحطيم صاحبها تماما .

ولكن جول فيرن قد ذكر فى الحقيقة عددا من الاجراءات ، التى يمكن اتخاذها لتخفيف الصدمة : لقد جهزت القذيفة بمصدات نابضية (زنبركية) وبارضية مزدوجة ، يكون الفراغ الموجود فيها ، مملوءا بالماء . وهذه الاجراءات تؤدى الى تمديد فترة الصدمة ، وبذلك يقل التسارع . ولكن عند وجود قوى هائلة ، كما فى هذه الحالة ، تصبح هذه الاجراءات قليلة الفائدة . ولا تقل القوة التى ستؤدى الى تحطيم الركاب على ارضية الصالة ، الا بمقدار ضئيل — ولا يختلف الامر ان تحطم الشخص بضغط قبعة تزن ١٥ طنا ، ام بضغط قبعة تزن ١٤ طنا !

---

* اضف الى ذلك ، بأن تسارع سيارة السباق ، بعد بدء انطلاقها ، لا يزيد على ٢ — ٣ م/ثا٢ ، اما تسارع القطار ، المنطلق من المحطة برفق ، فلا يزيد على ١ م/ثا٢ .

كيف نخفف الصدمة ؟

ان علم الميكانيكا ، يدلنا على كيفية تخفيف ذلك التسارع المهلك .

ويمكن التوصل الى هذا الغرض ، باطالة سبطانة المدفع ، عددا كبيرا من المرات . ولكن هذه الاطالة ستصل الى حد كبير جدا ، اذا اردنا ان تكون قوة الجاذبية « الصناعية » داخل القذيفة — فى لحظة الانطلاق — مساوية لقوة الجاذبية العادية على سطح الارض . ويشير الحساب التقريبى ، الى ان القيام بهذا العمل ، يتطلب منا صنع مدفع يبلغ طوله ٦٠٠٠ كم على اقل تقدير ! وهذا يعنى ان مدفع جول فيرن ، سيمتد الى مركز الكرة الارضية . وفى هذه الحالة سيستطيع الركاب التخلص من كافة المضايقات ؛ حيث سيضاف الى وزنهم الاعتيادى ، وزن ظاهرى مساو له فقط ، وذلك نتيجة للزيادة البطيئة فى السرعة ، وسوف يشعرون بان وزنهم لم يصبح الآ ضعف ما كان عليه فقط .

غير ان جسم الانسان قابل لتحمل زيادة الجاذبية عدة مرات ، خلال فترة زمنية قصيرة ، دون ان يصاب بأذى . وعندما ننحدر متزلّجين من قمة جبل جليدى الى الاسفل ، ونغيّر اتجاه حركتنا بسرعة ، فان وزننا يزيد فى هذه اللحظة القصيرة ، زيادة ملحوظة . اى ان جسمنا ينضغط ملتصقا بالزلاقة ، بقوة اكبر مما هى عليه فى العادة . ان اجسامنا قادرة تماما على تحمل زيادة الجاذبية بمقدار ثلاث مرات .

واذا فرضنا بان الانسان يستطيع — خلال فترة زمنية قصيرة — تحمل زيادة الوزن حتى بمقدار عشر مرات ، دون ان يصاب بأذى (وهى نفس زيادة الوزن ، التى يشعر بها رواد الفضاء عند بدء الانطلاق) ، فسوف نكتفى فى هذه الحالة بصنع مدفع يبلغ طوله ٦٠٠ كم « فقط » ! ومع ذلك ، فان هذا لا يحقق لنا اية فائدة . لان التكنيك الحديث عاجز عن توفير الامكانيات ، التى تساعد على صنع مثل هذا المدفع .

وهكذا نرى ان توفر الشروط المذكورة اعلاه فقط ، يجعل من الممكن تحقيق مشروع جول فيرن المغرى : التحليق الى القمر فى داخل قذيفة المدفع * .

* عندما وصف جول فيرن فى روايته المذكورة ، الظروف الجديدة فى داخل القذيفة ، اهمل امرا مهما جدا ، اتينا على ذكره بالتفصيل فى الكتاب الاول من « الفيزياء المسلية » . ان جول فيرن لم يأخذ

الى محبّى علم الرياضيات

لا بد وان يظهر من بين قراء هذا الكتاب ، من يرغب التأكد بنفسه ، من الحسابات المذكورة اعلاه . ولذلك نقدم الآن تلك العمليات الحسابية ، التى تعتبر صحيحة بصورة تقريبية فقط ، لانها مبنية على افتراضنا بان حركة القذيفة فى داخل سبطانة المدفع ، هى حركة منتظمة التسارع (اما فى الحقيقة ، فان هذه الحركة تكون غير منتظمة التسارع) .

ولاجراء العمليات الحسابية المذكورة ، سنلجأ الى استخدام الصيغتين التاليتين ، المتعلقتين بالحركة المنتظمة التسارع :

ان السرعة س ، بعد مرور ن ثانية ، سوف تساوى ت ن ، حيث ت ـ التسارع .

اذن س = ت ن.

والمسافة م المقطوعة فى ن ثانية ، تعين بالصيغة التالية :

$$م = \frac{ت ن^{٢}}{٢}$$

وبموجب هاتين الصيغتين ، نعين اولا تسارع القذيفة عند انزلاقها فى سبطانة المدفع العملاق .

نعرف من القصة ان طول جزء المدفع ، غير المشغول بالشحنة ، يبلغ ٢١٠ م ، وهذا يمثل الطريق م الذى تقطعه القذيفة .

ونعرف كذلك بان السرعة النهائية (القصوى) هى س = ١٦٠٠٠ م/ثا ، ان معرفة

فى الاعتبار ، حالة فقدان الوزن ، التى تتعرض لها كافة الاشياء الموجودة فى داخل القذيفة ، بعد الأنطلاق وخلال مدة التحليق باكملها ، وذلك لان قوة الجاذبية تكسب القذيفة وجميع الاجسام الموجودة فى داخلها ، تسارعا متساويا – راجع فيما بعد « الفصل الذى لم يفكر جول فيرن فى كتابته » .

م وس ، تساعدنا على تعيين قيمة ن ـ المدة التى تستغرقها حركة القذيفة فى داخل ماسورة المدفع (بفرض ان هذه الحركة منتظمة التسارع) .

اذن يكون لدينا فى الحقيقة :

$$س = ت ن = ١٦٠٠٠ \quad ؛ \quad ٢١٠ = م = \frac{ت ن \times ن}{٢} = \frac{١٦٠٠٠ \times ن}{٢} = ٨٠٠٠ \, ن$$

ومنها ينتج ان : $ن = \frac{٢١٠}{٨٠٠٠} = \frac{١}{٤٠}$ ثانية تقريبا .

ويظهر من ذلك، ان القذيفة انزلقت فى داخل المدفع لفترة زمنية تساوى $\frac{١}{٤٠}$ ثانية !

والآن نعوض عن $ن = \frac{١}{٤٠}$ فى الصيغة س = ت ن ، فنجد ان :

$$١٦٠٠٠ = \frac{١}{٤٠} \times ت \quad ؛ \quad اذن \; ت = ٦٤٠٠٠٠ \; م/ثا^{٢}.$$

وهذا يعنى ان تسارع القذيفة عند حركتها فى داخل سبطانة المدفع ، يساوى ٦٤٠٠٠٠ م/ثا^{٢} ، اى اكبر من تسارع الجاذبية بمقدار ٦٤٠٠٠ مرة . اذن كم يجب ان يبلغ طول المدفع ، لكى يصبح تسارع القذيفة ، اكبر من تسارع الجسم الساقط بعشر مرات فقط (اى يصبح مساويا لـ ١٠٠ م/ثا^{٢}) ؟

وهذه المسألة ، هى عكس المسألة التى انتهينا من حلها الآن . ونحن نعرف المعطيات التالية : ت = ١٠٠ م/ثا^{٢} ؛ س = ١١٠٠٠ م/ثا (عند عدم وجود مقاومة الهواء ، تكون هذه السرعة كافية) .

ومن الصيغة س = ت ن ، نجد ان :

$$١١٠٠٠ = ١٠٠ \, ن$$

اذن $\quad$ ن = ١١٠ ثانية .

ومن الصيغة $م = \frac{ت ن^{٢}}{٢} = \frac{ت ن \times ن}{٢}$ نجد ان طول المدفع يجب ان يساوى :

$$\frac{١١\ ٠٠٠ \times ١١٠}{٢} = ٦٠٥\ ٠٠٠ \text{ م} = ٦٠٠ \text{ كم} .$$

وبهذه العمليات الحسابية ، نكون قد حصلنا على الارقام التى تحطم المشاريع المغرية لابطال جول فيرن * .

* ان كافة المناقشات المذكورة فى هذا الفصل ، وكذلك الحسابات المبينة ، هى صحيحة بلا شك . اما من الناحية العملية ، فان مسألة تحليق الانسان الى القمر والى الكواكب الاخرى ، فقد حلت كما يظهر بمساعدة الصواريخ ، ونستطيع التأكيد هنا ، بان القارئ سيصبح فى المستقبل القريب ، شاهد عيان لهذه الاحداث الرائعة . وخير دليل على ذلك ، هى تلك المنجزات الرائعة لعلم الفضاء فى الاتحاد السوفييتى ، ومنها الهبوط الاوتوماتى للسفن الفضائية على كل من القمر والزهرة ، وتحليق السفن الفضائية المتعددة المقاعد ، والتلاحم الاوتوماتى فى الفضاء الخارجى . . . وغير ذلك .

الفصل السادس | خواص السوائل والغازات

البحر الذى لا يغرق فيه احد

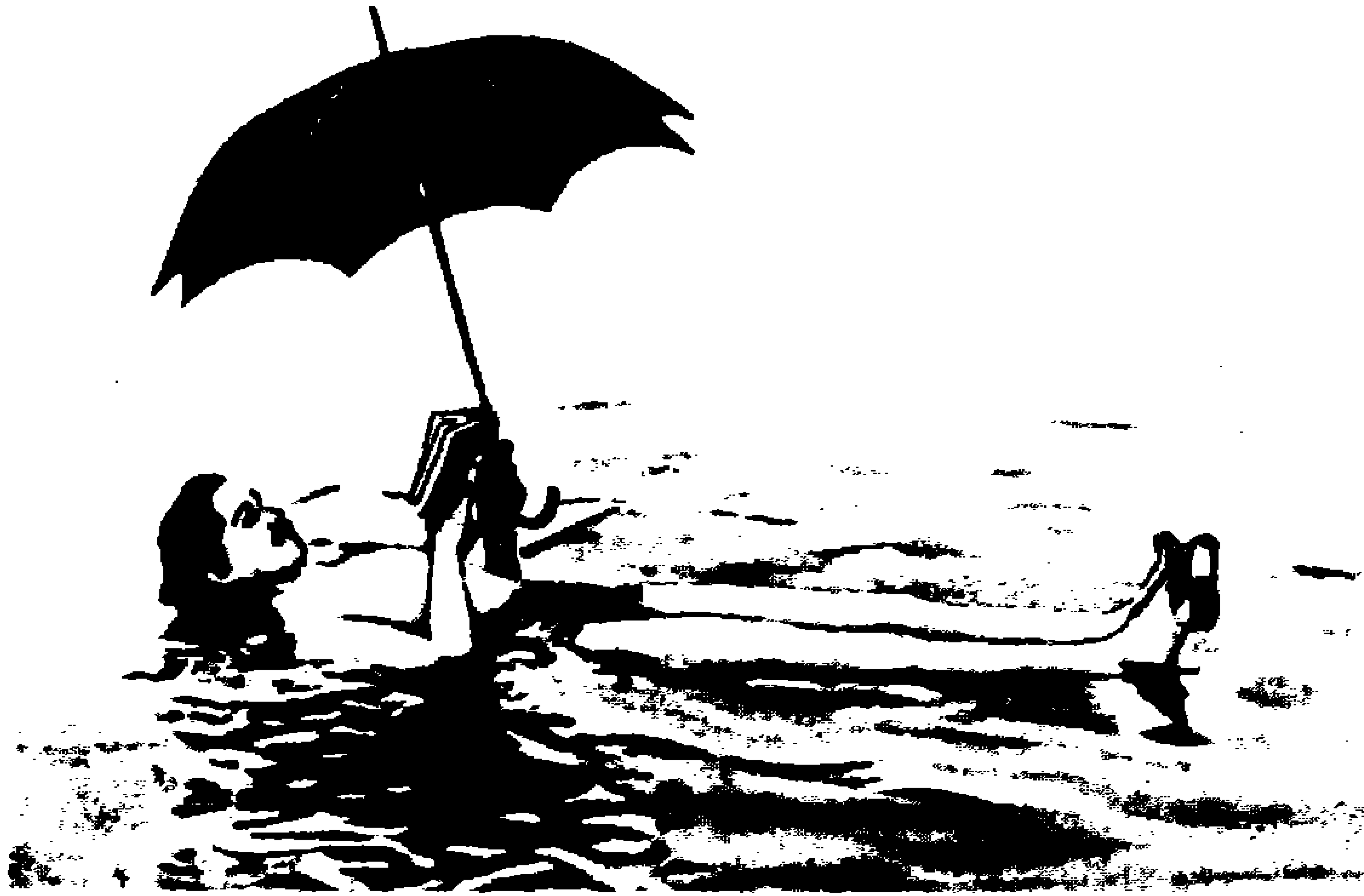
يقع هذا البحر فى بلاد معروفة بتاريخها العريق ، وهى فلسطين ، ويطلق عليه اسم البحر الميت ، الذى يعرفه الجميع . ان مياه هذا البحر مالحة جدا ، بحيث لا يمكن لاى كائن حى ان يعيش فيها . ومناخ فلسطين الحار ، الذى يندر فيه هطول الامطار ، يساعد على تبخر مياه سطح البحر بكثرة . وفى هذه الحالة ، يتبخر الماء النقي وحده ، وتبقى الاملاح فى البحر ، وتزيد من ملوحة المياه ، حيث تصل الى نسبة ٢٧٪ واكثر وتزداد الملوحة بازدياد العمق على عكس معظم البحار والمحيطات التى تصل نسبة الملوحة فيها الى ٢ او ٣ بالمئة (بالوزن) . وهكذا ، فان ربع محتويات البحر الميت ، تتكون من الاملاح المذابة فى مياهه . وتقدّر الكمية الكلية للاملاح الموجودة فيه ، باربعين مليون طن . ويرجع سبب الملوحة الزائدة لمياه البحر الميت ، الى احدى خواصه المميزة ، وهى ان مياه هذا البحر اثقل كثيرا من مياه البحار الاعتيادية . ولهذا يستحيل الغرق فى مثل هذا السائل الثقيل ، لان جسم الانسان اخف من ذلك السائل .

ان وزن جسم الانسان ، اقل بقدر ملحوظ ، من وزن نفس الحجم من الماء الزائد الملوحة .

اذن تبعا لقانون طفو الاجسام (قانون الاجسام الطافية) ، يستحيل ان يغرق الانسان فى البحر الميت ؛ لانه سوف يطفو على صفحته ، كما تطفو بيضة الدجاجة فى الماء المالح (فى حين انها تغطس فى الماء العذب) . وقد قام الكاتب الامريكى

الساخر مارك توين ، بزيارة البحر الميت ، وكتب وصفا هزليا للاحاسيس غير الطبيعية ، التي انتابته وانتابت رفاقه اثناء سباحتهم في المياه الثقيلة للبحر الميت :

« لقد كانت سباحة مضحكة ، حيث لم يكن بوسعنا ان نغوص في الماء . ويستطيع الانسان هنا ان يتمدد على صفحة الماء بكل طوله ، وهو مستلق على ظهره ، مع وضع يديه على صدره ، وسيكون القسم الاكبر من جسمه خارج الماء . ويمكنه عند ذلك ان يرفع رأسه تماما ... وفي استطاعته ان يستلقي على ظهره براحة تامة ، مع رفع ركبتيه نحو ذقنه ومسكهما بيديه ولكنه سرعان ما ينقلب ، لان ثقل الرأس سيرجح . ويستطيع الانسان الانتصاب على رأسه ، حيث سيكون القسم الممتد من منتصف صدره الى اخمص قدميه ، خارج الماء . ولكنه لن يستطيع البقاء على هذه الوضعية ، لمدة طويلة من الوقت . ولن يستطيع السباحة على ظهره وقطع اية مسافة ملحوظة ، لان قدميه ستكونان خارج الماء ، الامر الذي يجعله يدفع الماء بعقبيه فقط . واذا سبح الانسان على بطنه ووجهه الى الاسفل ، فسوف لن يتحرك الى الامام ، بل الى الوراء . اما الحصان ، فهو عديم الاستقرار ، بحيث لا يستطيع السباحة او الوقوف في البحر الميت ؛ لانه ينبطح على جانبه في الحال » .



شكل ٤٧ : شخص مضطجع على سطح البحر الميت (نسخه من صورة فوتوغرافية) .

ويظهر في الشكل ٤٧ ، احد الاشخاص وقد تمدد على سطح البحر الميت بصورة مريحة نوعا ما . والوزن النوعى الكبير للماء يمكن ذلك الشخص المتمدد بهذه الصورة ، من قراءة كتاب تحت مظلة تقيه من اشعة الشمس المحرقة .

ان لمياه خليج قره بوغاز جول * ، الواقع فى بحر قزوين ، نفس الخواص الغريبة السابقة ، كما ان لمياه بحيرة ألتون ، التى تحتوى على ٢٧٪ من الاملاح ، خواص لا تقل غرابة عما سبق ذكره .

ان المرضى الذين يستحمون فى حمامات الماء المالح ، يشعرون بنفس الشعور السابق تقريبا . واذا كانت ملوحة الماء كبيرة جدا ، مثلا فى المياه المعدنية لحمامات ستارايا روسا فى الاتحاد السوفييتى ، يتوجب على المريض ان يبذل جهدا لا يستهان به ليستقر على قاع الحمام . وقد طرقت سمعى شكوى صدرت عن احدى النساء المستحمات فى حمامات ستارايا روسا ، حيث قالت تلك المرأة بدهشة « ان المياه تدفعها بقوة من الحمام » . ويظهر من قولها انها كانت تميل الى اتهام ادارة المصيف بالتسبب فيما يحدث لها !

ان درجة ملوحة المياه تختلف من بحر لاخر ، وطبقا لذلك يختلف حجم الجزء الغاطس من السفينة فى مياه البحار المختلفة . وربما يكون بعض القراء ، قد شاهدوا على جانب السفينة بالقرب من خط الماء ، « علامة لويد » التى تبين حد الانغمار فى المياه المختلفة الكثافة . وعلى سبيل المثال فان علامة التحميل المبينة فى الشكل ٤٨ ، تدل على مستوى حد الانغمار ، الذى يكون كما يلى :

FW — فى الماء العذب ؛

IS — فى المحيط الهندى صيفا ؛

S — فى الماء المالح صيفا ؛

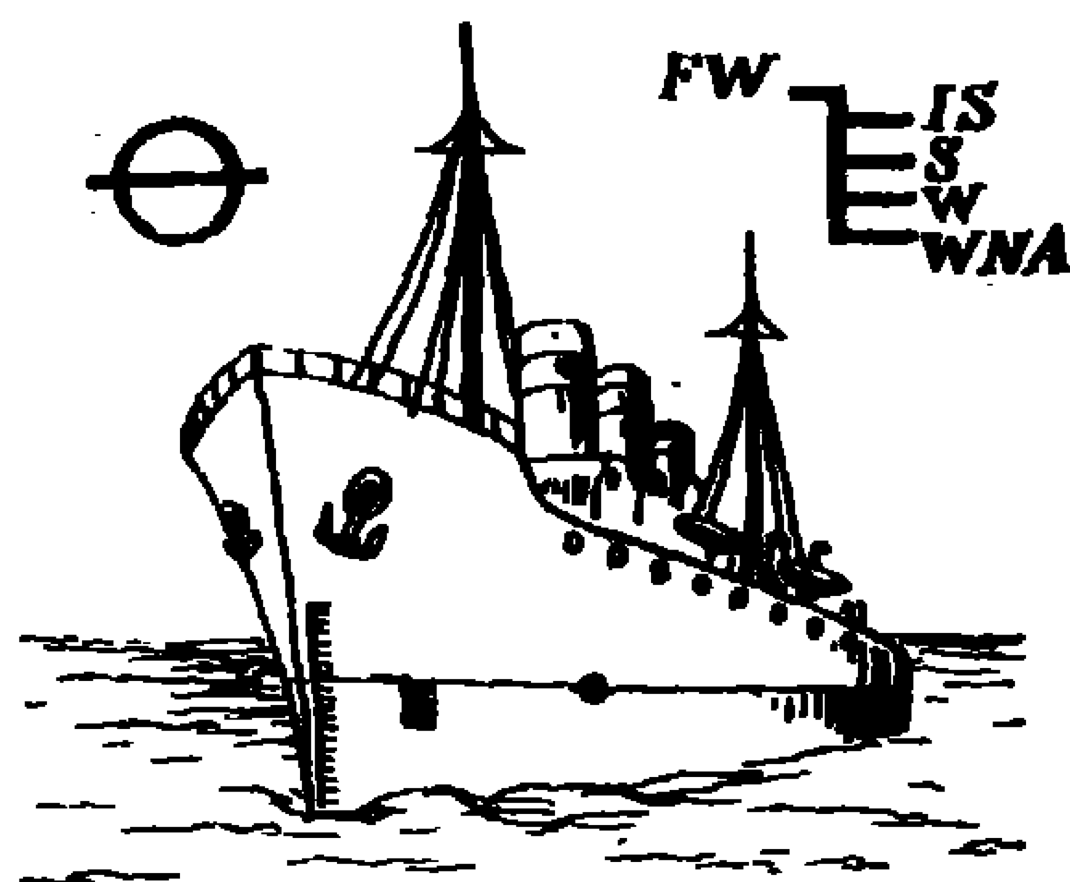
W — فى الماء المالح شتاء ؛

WNA — فى المحيط الأطلسى الشمالى شتاء .

---

* ان الوزن النوعى لمياه خليج قره بوغاز جول يساوى ١٫١٨ .

واخيرا ، تجدر الاشارة الى وجود نوع من الماء ، يكون فى حالته النقية عند خلوه من اية شوائب، اثقل من الماء العادى بقدر محسوس . اذ يبلغ وزنه النوعى ١ر١ ، اى اكثر من الوزن النوعى للماء العادى بمقدار ١٠٪ . وهكذا ، نجد ان الشخص الذى يستحم فى مسبح مملوء بمثل هذا الماء ، لا يغرق الا بصعوبة حتى لو كان لا يجيد السباحة . وقد اطلق على هذا الماء اسم « الماء الثقيل » ، وصيغته الكيميائية هى D_2O



شكل ٤٨ : علامة التحميل على جانب الباخرة . وتوضع العلامات فى مستوى خط الماء . وقد رسمت هذه العلامات بصورة واضحة ومكبرة فى الزاوية اليمنى العليا من الشكل . ويجد القارئ معانى الحروف اللاتينية فى نص البحث .

(ان مركب الايدروجين الداخل فيه ، يتألف من ذرات اثقل بمرتين من ذرات الايدروجين العادى ويرمز اليه بالحرف D) . ويحتوى الماء العادى على كمية قليلة جدا من « الماء الثقيل » ؛ حيث يوجد فى كل سطل من الماء العادى ، حوالى ٨ جم من الماء الثقيل .

ان الماء الثقيل من النوع D_2O (هناك ١٧ نوعا من الماء الثقيل) يستخلص فى الوقت الحاضر بصورة نقية تقريبا ؛ حيث لا يحتوى الا على ٠٥ر٠٪ من الماء العادى على وجه التقريب .

ويستخدم الماء الثقيل على نطاق واسع فى الصناعات الذرية ، وخاصة فى المفاعلات الذرية . ويستخلص الماء الثقيل من الماء العادى ، بطريقة صناعية وبكميات كبيرة جدا .

كيف تعمل محطمة الجليد ؟

ننصح القارئ باجراء التجربة التالية عند استحمامه فى الحمام : قبل ان تخرج من المغطس ، انزع السدادة عن فتحة خروج الماء ، على ان تبقى ممددا فى قعر المغطس فى هذه الاثناء . ستشعر بان جسمك سيصبح اثقل فاثقل ، كلما زاد حجم

الجزء الموجود منه خارج الماء . وعند ذلك سوف يقتنع القارئ بشكل واضح جدا ، بان ما فقده الجسم من وزنه في الماء (تذكر كيف شعرت بخفة جسمك وانت في داخل المغطس) ، سيسترجعه مرة اخرى حالما يصبح الجسم خارج الماء . وعندما يتعرض الحوت لمثل هذه التجربة بصورة لا ارادية ، وذلك اثناء الجزر حيث يصبح فجأة في مياه ضحلة ، تكون العاقبة مميتة بالنسبة له ؛ اذ يتحطم الحوت تحطما تاما تحت تأثير وزنه الهائل . وليس هناك ما يدعو الى العجب عندما نرى ان الحيتان تعيش في المياه فقط ؛ حيث ان قوة الماء الدافعة تنقذ الحيتان من التأثير المميت لقوة الجاذبية .

ان لهذا القول علاقة وثيقة بعنوان الموضوع الحالي ، حيث ان عمل كاسحة الجليد مبني على نفس الظاهرة الفيزيائية المذكورة اعلاه ، لان جزء محطمة الجليد الموجود خارج الماء ، لا يكون متوازنا مع قوة الماء الدافعة ، وبذلك يصبح له نفس الوزن ، الذي يزنه على اليابسة . ولا يجب التفكير بان محطمة الجليد تقطع الجليد اثناء سيرها بواسطة الضغط المتواصل لمقدمتها . لان هذا العمل ليس من اختصاص محطمات الجليد ، ولكن من اختصاص قاطعات الجليد . ان طريقة العمل هذه ، ملائمة فقط بالنسبة للجليد الذي يكون سمكه قليلا نوعا ما .

ان محطمات الجليد الحقيقية ، مثل محطمة الجليد الذرية « لينين » ، تعمل بطريقة مختلفة تماما . ان المحركات القوية لمحطمة الجليد تجعل مقدمتها تسير بثقلها على سطح الجليد ، ولاجل ذلك يصمم جزء المقدمة الواقع تحت الماء ، بحيث يكون شديد الميلان . وبعد ظهور مقدمة السفينة فوق سطح الماء ، تكتسب وزنها الكامل ، الذي يكون بمثابة ثقل هائل يعمل على تحطيم الجليد . ولزيادة ضغط المقدمة على الجليد ، كثيرا ما يضخ الماء الى صهاريج موجودة في مقدمة محطمة الجليد . ويستمر عل محطمة الجليد على هذا المنوال ، الى ان تصادف جليدا سميكا جدا . ان محطمة الجليد الذرية « لينين » تسير بلا توقف ، في المناطق التي يصل فيها سمك الجليد الى مترين . اما الجليد الذي يزيد سمكه على ذلك ، فيحطم بعملية الدك التي تحدثها محطمة الجليد . وفي هذه الحالة ترجع محطمة الجليد الى الوراء ، ثم تنطلق باقصى سرعتها وتصدم حافة

الجليد بكتلتها الضخمة . وهنا لا يكون الوزن هو المؤثر ، انما تؤثر الطاقة الحركية للسفينة المنطلقة ، التى تتحول الى ما يشبه القذيفة المدفعية ذات السرعة غير الكبيرة ، ولكن بكتلة صدمية هائلة . ان ركام الجليد الذى يبلغ ارتفاعه عدة امتار ، يحطم بقوة الضربات المتكررة للمقدمة الصلبة لمحطمة الجليد . ونقدم فيما يلى وصفا لعمل محطمة الجليد « سيبيرياكوف » ، كما جاء على لسان احد بحارتها القطبيين ، المدعو ماركوف ، اثناء القيام بالرحلة الاستكشافية المشهورة عام ١٩٣٢ :

« بدأت « سيبيرياكوف » معركتها وسط مئات الكتل الجليدية المتراصة ، ووسط حقول مترامية من الجليد . وخلال ٥٢ ساعة متواصلة ، كان مؤشر تلغراف المكنة يقفز من عبارة « الى الوراء باقصى سرعة » الى عبارة « الى الامام باقصى سرعة » . وكانت « سيبيرياكوف » اثناء ذلك تصطدم بالجليد بقوة وتحطمه بمقدمتها ، وتصعد فوقه وتكسره ثم تنسحب ثانية الى الوراء لتعاود الكرّة . وهكذا ، الى ان شقت طريقها بصعوبة وسط الجليد الذى بلغ سمكه ثلاثة ارباع المتر . وفى كل صدمة جديدة ، كنا نقطع فى الجليد مسافة تساوى ثلث طول السفينة » .

اين تستقر السفن الغارقة ؟

هناك فكرة منتشرة حتى بين البحارة ، مفادها ان السفن الغارقة فى المحيط ، لا تصل الى قاعه ، ولكنها تتعلق بلا حراك على مسافة معينة من القاع ، حيث يكون الماء طبقا لذلك ، اكثر كثافة نتيجة لضغط الطبقات الموجودة فوقه .

وعلى ما يبدو ، فان مؤلف رواية « عشرون ألف فرسخ تحت الماء » كان هو الآخر يعتقد بهذه الفكرة . ففى أحد فصول هذه الرواية ، يصف جول فيرن سفينة غارقة ، معلقة بلا حراك فى الماء ؛ وفى فصل آخر يحدث القراء عن السفن التى « تنخر وهى معلقة بحرية فى الماء » .

ولكن هل هذه الفكرة صحيحة ؟

يبدو ان هناك سببا معينا يدعو الى الاعتقاد بهذه الفكرة . ذلك لان ضغط الماء فى اعماق المحيط يصل فى الحقيقة الى درجات هائلة . فعلى عمق ١٠ م ، يضغط الماء بقوة قدرها ١ كجم على كل ١ سم^{٢} من سطح الجسم المغمور فيه . وعلى عمق ٢٠ م يصل الضغط الى ٢ كجم ؛ وعلى عمق ١٠٠ م يصبح ١٠ كجم . اما على عمق ١٠٠٠ م فيصل الضغط الى ١٠٠ كجم . وفى اماكن كثيرة من المحيط ، يكون عمق الماء مساويا لعدة كيلومترات ، ويصل هذا العمق فى اعمق مناطق المحيط الهادى ، الى اكثر من ١١ كم (منخفض ماريانى) . ويمكن بسهولة ، حساب الضغط الهائل الذى يجب ان يتحمله كل من الماء والاجسام المغمورة فيه ، عند تلك الاعماق الكبيرة جدا . واذا غمرنا قنينة زجاجية فارغة ، مسدودة بالفلين ، الى عمق كبير فى داخل الماء ، لرأينا عندما نخرجها من الماء ثانية ، ان ضغط الماء قد دفع سدادة الفلين الى داخل القنينة الزجاجية حتى امتلأت بالماء تماما .

ويحدثنا عالم جغرافية المحيطات المشهور جون ميرى ، فى كتابه المعنون « المحيط » ، عن التجربة التالية التى اجراها : أخذ ثلاثة أنابيب زجاجية مختلفة الحجوم ، وسدها باحكام من كلا طرفيها ، ثم لفها بقطعة من الجنفاص (الخيش) ، ووضعها فى داخل اسطوانة نحاسية ، ذات فتحات تسمح بدخول الماء بحرية . وبعد ذلك غمر الاسطوانة فى البحر الى عمق ٥ كم . وعند اخراج الاسطوانة من الماء ، لوحظ ان قطعة الجنفاص كانت مملوءة بكتلة تشبه الثلج ، ظهر انها تتألف من مسحوق الزجاج . ان القطع الخشبية التى غمرت الى ذلك العمق ، أصبحت بعد اخراجها ، تغطس فى الماء مثلما يغطس الطوب (الآجر) ، وذلك لانها تعرضت الى ضغط هائل .

ويبدو انه من الطبيعى ان نتوقع بان هذا الضغط الهائل ، يجب ان يجعل الماء الموجود على اعماق كبيرة ، كثيفا جدا بحيث لا تغطس فيه حتى المواد الثقيلة ، كما لا تغطس السنجة الحديدية فى الزئبق . ولكن هذه الفكرة لا أساس لها من الصحة بتاتا . وتشير التجربة الى ان الماء ، كبقية السوائل الاخرى ، قليل التأثر بالضغط . واذا ضغطنا بقوة قدرها ١ كجم على ١ سم^{٢} من سطح الماء، فانه لن ينضغط الا بمقدار $\frac{١}{٢٢٠٠٠}$

من حجمه الكلى ، وينضغط بنفس المقدار تقريبا كلما زاد الضغط بمقدار ١ كجم ، وهكذا . واذا اردنا ان تصل كثافة الماء الى الدرجة التى تجعل قطعة الحديد تطفو على سطحه ، لا بد وان نرفع كثافته الى ثمانية اضعاف ما هى عليه فى العادة. وبهذه المناسبة ، نشير الى ان رفع كثافة الماء الى الضعف فقط ، اى تقليل حجمه الى النصف ، يتطلب ضغطا قدره ١١٠٠٠ كجم/سم٢ (على فرض وجود العمق الذى يناسب مثل هذا الضغط الهائل). والحصول على مثل هذا الضغط ، يتحقق بوجود الماء على عمق ١١٠ كم تحت سطح المحيط !

ويتضح من ذلك ، انه ليس هناك اى مجال للحديث عن زيادة كثافة الماء الموجود فى اعماق البحار ، ولو زيادة طفيفة . ففى اعمق قيعان البحار ، لا تبلغ زيادة كثافة الماء اكثر من $\frac{١١٠٠}{٢٢٠٠٠}$، اى بمقدار $\frac{١}{٢٠}$ من كثافته العادية، اى ٥٪ فقط*. وهذه الزيادة لا تؤثر تقريبا على شروط طفو الأجسام المختلفة فى الماء ؛ لا سيّما وان الاجسام الصلبة المغمورة فى مثل هذا الماء ، ستتعرض هى الاخرى الى نفس الضغط ، وبالتالى تزداد كثافتها ايضا .

ولذلك ليس هناك ادنى شك فى ان السفن الغارقة تستقر فى قاع المحيط . ويقول ميرى « ان كل جسم يغرق فى قدح الماء ، يجب ان يصل الى القاع حتى فى اعمق المحيطات » .

وقد سمعت برأى معارض لهذه الفكرة . ويقول اصحاب الرأى المذكور ، اننا اذا غمرنا قدحا فى الماء بحذر ، بحيث تكون قاعدته الى الاعلى ، فانه سيبقى على هذا الوضع ، وذلك لانه سيزيح من الماء حجما معينا ، يكون وزنه مساويا لوزن القدح .

---

* لقد ظهر نتيجة لتقديرات الفيزيائى الانكليزى تيت ، انه فى حالة انعدام الجاذبية الارضية فجأة ، وفقدان الماء لوزنه ، فان مستوى الماء فى المحيط سيرتفع فى المعدل بمقدار ٣٥ م ، نتيجة لاستعادة الماء المضغوط لحجمه الطبيعى بعد رفع الضغط . وقد لاحظ العالم بيرجى ، انه فى هذه الحالة « ستغطى مياه المحيط ٥٠٠٠٠٠٠ كم٢ من اليابسة ، التى يتوقف وجودها خارج الماء على انضغاطية مياه المحيط ، التى تحيط بها » .

اما القدح المعدنی ، الاثقل ، فيمكن ان يحافظ على نفس الوضع السابق حتى تحت سطح الماء ، بدون ان يهبط الى القاع . وبهذه الكيفية بالذات ، يمكن للطرادة المقلوبة او لاية سفينة اخرى غارقة ، ان تبقى واقفة فی منتصف عمق المحيط . اما اذا كان الهواء محصورا فی بعض غرف السفينة ، فانها ستغطس الى عمق معيّن وتبقى ثابتة فی محلها . وهناك كثير من السفن ، التی تهبط الى القاع وهی فی وضعية مقلوبة ، ومن المحتمل الا يصل البعض منها الى القاع ، بل يبقى معلقا فی اعماق المحيط المظلمة . وفی هذه الحالة تكون اخف دفعة ، كافية لاخراج مثل هذه السفينة عن توازنها ، وقلبها حتى تجعلها تهبط الى القاع بعد ان تمتلیء بالماء . ولكن ، هل من سبيل الى ظهور الدفعات فی اعماق المحيط ، حيث يخيم سكون أزلی ، وحيث لا تتردد حتى اصداء العواصف ؟

ان كل هذه الحجج مبنية على خطأ فيزيائی . ان القدح المقلوب لا يغطس فی الماء ذاتيا ، لانه بحاجة الى قوة خارجية تغمره فيه ، كقطعة الخشب مثلا او القنينة الزجاجية الفارغة . وهكذا تماما ، لا تبدأ السفينة المقلوبة بالغرق ، ولكنها تبقى على سطح الماء . ولا يمكن لهذه السفينة ان تصبح مستقرة فی منتصف الطريق بين سطح المحيط وقاعه .

كيف تحققت احلام جول فيرن وويلز

ان الغواصات الحقيقية فی الوقت الحاضر ، تفوقت حتى على غواصة جول فيرن الخيالية « ناوتيلوس » ، من بعض النواحی . وفی الحقيقة ، فان سرعة الغواصات الحالية ، اقل من سرعة « ناوتيلوس » بمرتين ، حيث تبلغ سرعتها ٢٤ عقدة ، مقابل ٥٠ عقدة بالنسبة لغواصة جول فيرن (العقدة تساوی ١,٨ كم/ ساعة) . كما ان اطول رحلة تستطيع الغواصة الحديثة ان تقوم بها ، هی رحلة حول العالم ؛ بينما قام الكابتن نيمو برحلة اطول من ذلك بمرتين . ولكن من الناحية الاخرى ، لم تزد حمولة « ناوتيلوس » على ١٥٠٠ طن ، وكان طاقمها يتألف من ٢٠ او ٣٠ شخصا فقط ، كما كانت تستطيع

البقاء تحت سطح الماء لمدة لا تزيد على ٤٨ ساعة متواصلة . ان حمولة الغواصة « سوركوف » التابعة للاسطول الفرنسي ، المصنوعة عام ١٩٢٩ ، بلغت ٣٢٠٠ طن ، وكان طاقمها يتألف من ١٥٠ شخصا ، وكان يمكنها البقاء تحت سطح الماء لمدة تصل الى ١٢٠ ساعة متواصلة * .

وقد تمكنت هذه الغواصة من القيام برحلة تحت سطح الماء ، من موانئ فرنسا الى جزيرة مدغشقر ، بدون ان تمر باى ميناء من الموانئ الموجودة على طريقها . وربما كانت اسباب الراحة متوفرة في الغواصة « سوركوف » ، بصورة لا تقل عما هي عليه في « ناوتيلوس » .

وقد كانت « سوركوف » تمتاز على غواصة الكابتن نيمو ، بميزة لا تنكر ، وهي وجود حظيرة صامدة للماء على ظهر الغواصة العلوى ، لاجل الطائرات البحرية الاستكشافية . ونشير كذلك الى ان جول فيرن لم يزود « ناوتيلوس » بالبيريسكوب ، الذى يمكّن بحارة الغواصة من مراقبة ما يجرى فوق سطح الماء ، وهم تحت سطحه .

وهناك ناحية واحدة فقط ، ستبقى بموجبها الغواصات الحقيقية متخلفة لمدة طويلة عن الغواصة الخيالية ، التى ابتكرتها قريحة جول فيرن ؛ الا وهى عمق الغوص . ولكن تجدر الاشارة هنا ، الى ان مخيلة جول فيرن قد تعدّت نطاق الحقيقة الى ابعد مدى ، فيما يتعلق بهذه الناحية .

ونقرأ في احد فصول الرواية ما يلى : « هبط الكابتن نيمو بغواصته الى عمق وصل على التوالى الى ثلاثة ، اربعة ، خمسة ، سبعة ، تسعة وعشرة آلاف متر تحت سطح المحيط » . حتى ان « ناوتيلوس » هبطت ذات مرة الى عمق ليس له مثيل — وقدره ١٦ ألف متر !

---

* ان الغواصات الذرية الحديثة ، توفر لنا حرية اختيار الطرق فى الاعماق المجهولة للبحار والمحيطات. ان احتياطى الطاقة الهائل ، الموجود فى الغواصة ، يساعدها على القيام برحلة طويلة جدا تحت سطح الماء . ان الغواصات الذرية السوفييتية والامريكية ، وصلت الى القطب الشمالى وهى تحت سطح الماء . حتى انها قامت برحلات حول العالم ، مع وجودها تحت سطح الماء بصورة مستمرة .

ويتحدث بطل الرواية قائلا :

و« شعرت بارتجاج براشم الهيكل الحديدى للغواصة ، وبتقعر صفائحه المعدنية نحو الداخل ، وذلك تحت تأثير ضغط الماء . ولو لم تكن غواصتنا قوية ومتماسكة ، مثل المادة الصلبة المصبوبة ، لانداحت لتّوها ، ولتحولت الى ما يشبه القرص او الرغيف » .

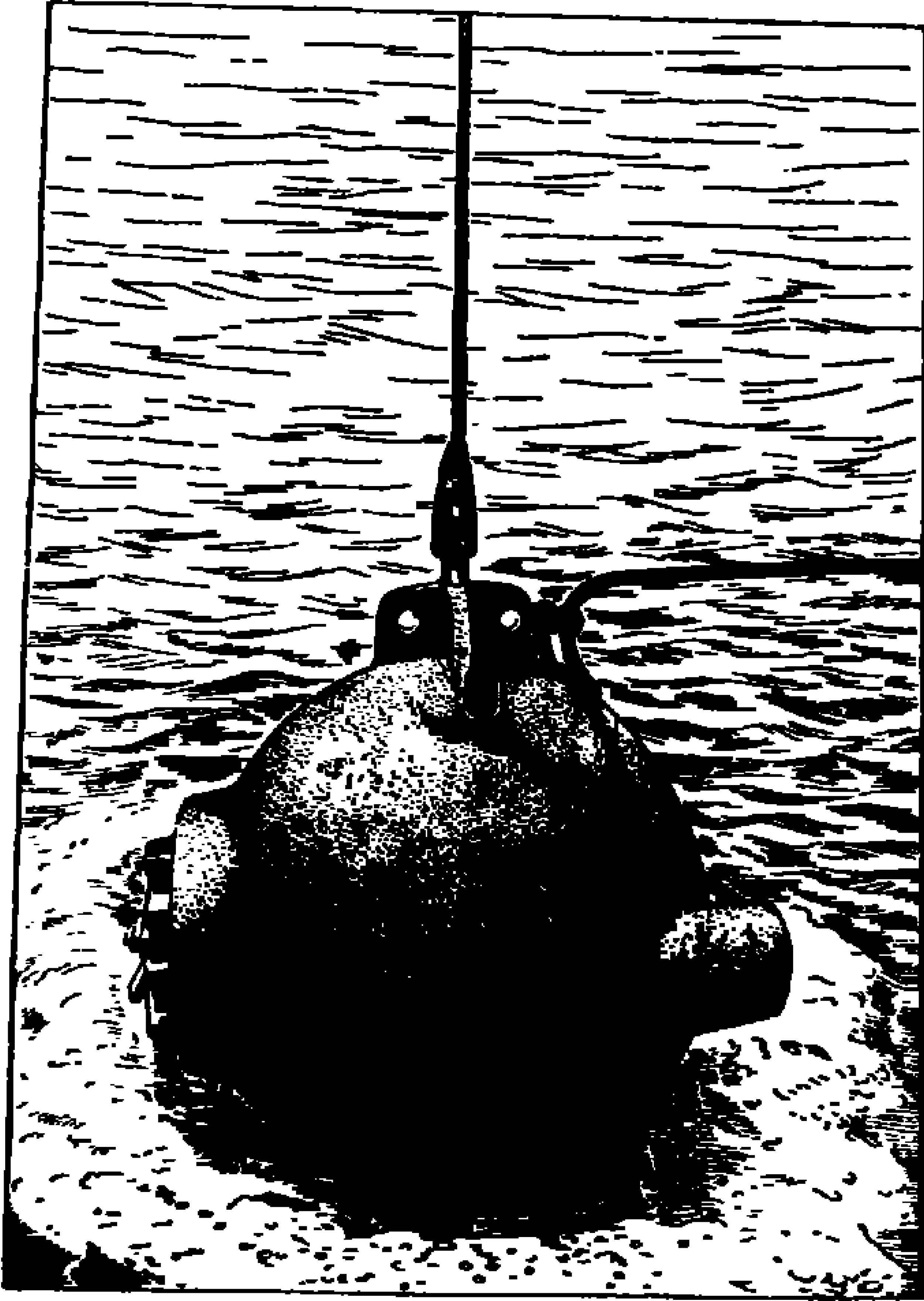
لقد كان هذا الوصف في محله ، وذلك لان ضغط الماء على عمق ١٦ كم (على فرض وجود مثل هذا العمق فى المحيط) ، يجب ان يساوى

$$\frac{١٦٠٠٠}{١٠} = ١٦٠٠ \text{ كجم/سم}^٢ ،$$

او ١٦٠٠ من الضغوط الجوية الصناعية (المختبرية) . وهذه القوة لا تسحق الحديد المصبوب لكنها لا بد ان تحطم الهيا كل الحديدية. ومع ذلك فان علماء جغرافية المحيطات ، لم يتوصلوا لحد الآن الى العثور على مثل هذا العمق . ان المبالغة فى تقدير اعماق البحار ، كانت تسيطر على عقول الناس فى العصر الذى عاش فيه جول فيرن (كتبت الرواية فى عام ١٨٦٩). وسبب تلك المبالغة هو عدم دقة اجهزة وطرق قياس عمق البحار. ففى تلك الايام ، لم تستخدم الاسلاك الفولاذية لقياس العمق ، بل استخدمت حبال القنب، التى كان احتكاكها بالماء يمنعها من التوغل الى اعماق البحر، وكان الاحتكاك يزداد بازدياد العمق؛ واذا وصل الحبل الى عمق كبير جدا، يزداد الاحتكاك الى درجة كبيرة تمنع الحبل من الهبوط اكثر من ذلك مهما زيد فى طوله : اذ كان الحبل بعد ذلك يشتبك فى داخل الماء ، ويولد انطباعا عن عمق هائل .

ان الغواصات الحديثة يمكن ان تتحمل ضغطا يتراوح بين ٢٥ — ٣٠ ضغطا جويا تقريبا ؛ وهذا يحدد العمق الاقصى لغوصها ، وقدره ٣٠٠ م . وقد امكن النزول الى عمق اكبر من ذلك بكثير ، باستخدام جهاز خاص يسمى بـ « كرة الاعماق » ، وهو مبين فى الشكل — ٤٩ . وهذا الجهاز مخصص لدراسة الحياة فى اعماق المحيطات . والجهاز المذكور ، لا يشبه غواصة جول فيرن « ناوتيلوس » ، ولكنه يشبه كرة اعماق البحار ، التى وصفها الكاتب ويلز فى قصته الخيالية « فى اعماق البحار » . ان بطل هذه القصة

الخيالية ، نزل الى قاع البحر الذى يبلغ عمقه ٩ كم ، فى داخل كرة فولاذية سميكة الجدران . وقد غاصت هذه الكرة بدون ان تربط بسلك ، ولكنها كانت مزودة بثقل يمكن فصله ؛ وبعد وصول الكرة الى قاع المحيط ، تتخلص من الثقل الذى يشدّها الى القاع ، وتتجه بقوة الى الاعلى نحو سطح الماء . وقد تمكن العلماء من النزول الى عمق يزيد على ٩٠٠ م ، وهم فى داخل كرة الاعماق . وتهبط كرة الاعماق من السفينة التى تحملها ، بواسطة سلك فولاذى ، ويكون الشخص الموجود فى داخلها على اتصال تلفونى دائم بالسفينة .



شكل ٤٩ : « كرة الاعماق » الفولاذية، التى تستخدم للغوص فى اعماق المحيط. وقد تمكن العالم ويليام بيب فى عام ١٩٣٤ ان يصل وهو فى داخل هذه الكرة الى عمق قدره ٩٢٣م. ويبلغ سمك كرة الاعماق حوالى ٤ سم، وقطرها يساوى ١,٥ م، اما وزنها فيبلغ ٢,٥ طن .

ومنذ وقت غير بعيد، تمّ صنع اجهزة اعماق خاصة ـ غواصات الاعماق ، لدراسة اعماق البحار فى فرنسا ، اشرف على صنعها المهندس ويلم ، وفى ايطاليا ، حسب التصميم الذى وضعه البروفيسور البلجيكى بيكارد . واهم ما يميّز غواصات الاعماق عن كرات الاعماق ، هو قابليتها للتحرك فى داخل الماء على اعماق كبيرة ، فى الوقت الذى تكون فيه كرات الاعماق ، معلقة فى الاسلاك وعاجزة عن المناورة .

وقد تمكن بيكارد فى البداية ، من الغوص الى عمق يزيد على ٣ كم فى داخل غواصة الاعماق ، ثم تلاه الفرنسيان هيوم وويلم ، حيث وصلا الى عمق قدره ٤٠٥٠ م . وفى شهر تشرين الثانى عام ١٩٥٩ ، وصلت غواصة الاعماق الى عمق قدره ٥٦٧٠ م ،

ولم يكن هذا هو الحد الاقصى بعد . وفى التاسع من كانون الثانى عام ١٩٦٠ ، نزل بيكارد الى عمق ٧٣٠٠ م ، اما فى ٢٣ كانون الثانى ، فقد حطت غواصته على قاع « منخفض ماريانى » ، الواقع على عمق ١١٫٥ كم ! وتشير المعطيات الحديثة الى ان هذا المكان ، هو اعمق مكان فى العالم .

كيف انتشلت محطمة الجليد «سادكو»

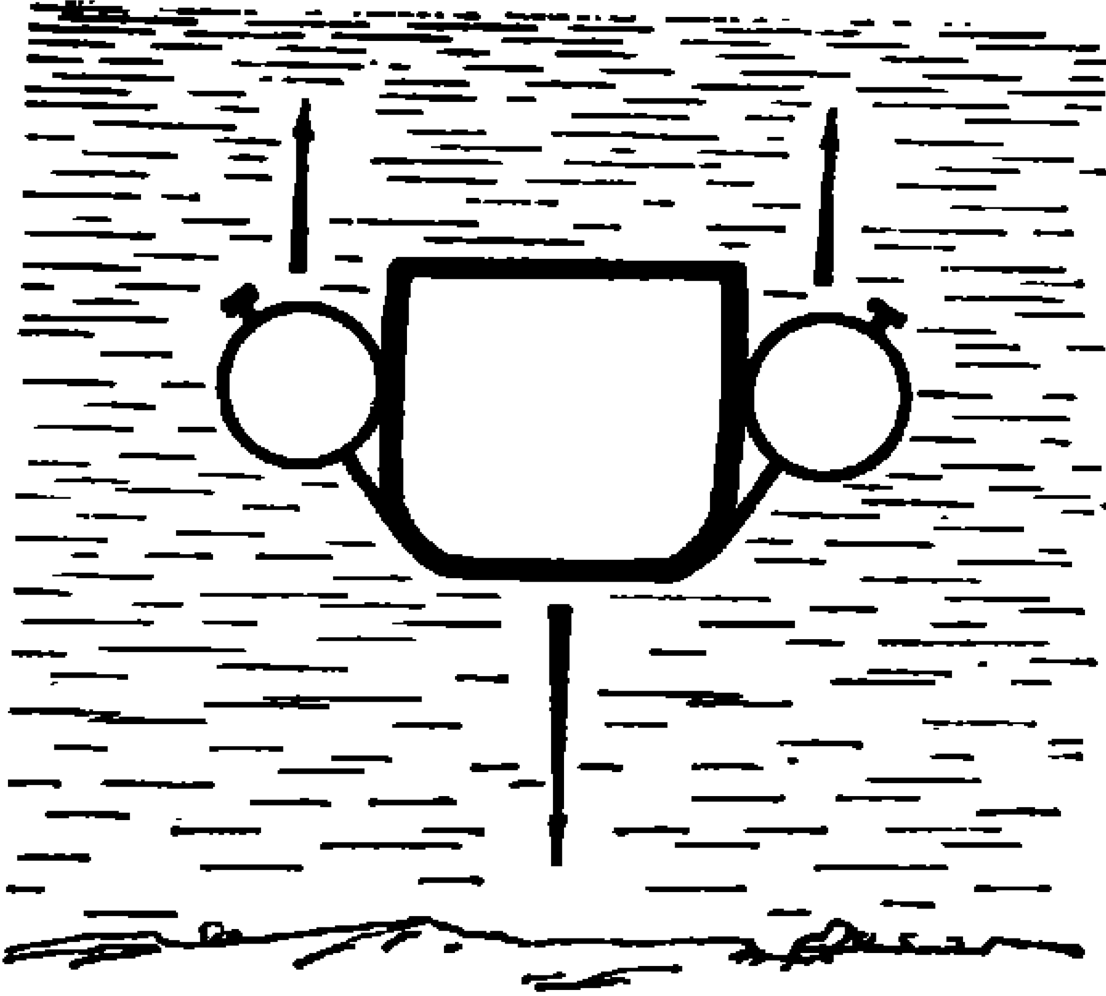
ان آلاف السفن الكبيرة والصغيرة ، تغرق كل عام فى المحيطات والبحار ، وخاصة فى اوقات الحروب . وقد تم فى السنوات الاخيرة انتشال اثمن السفن الغارقة التى يسهل الوصول اليها . وقد حصل المهندسون والغوّاصون السوفييت ، العاملون فى مؤسسة البعثات الاستكشافية الخاصة تحت سطح الماء ، على شهرة عالمية . اذ استطاعوا ان ينتشلوا بنجاح تام ، ما يزيد على ١٥٠ سفينة ضخمة من السفن الغارقة . وكانت محطمة الجليد « سادكو » من أضخم تلك السفن ، حيث غرقت فى البحر الابيض الشمالى عام ١٩١٦ ، نتيجة لتهاون قبطانها . وبعد مضى ١٧ عاما على غرق محطمة الجليد الممتازة هذه ، تمكن المهندسون والغواصون السوفييت من انتشالها من قاع البحر ، واعادتها الى العمل مرة ثانية .

ان الاسلوب الفنى لانتشال السفن الغارقة ، يعتمد فى اساسه اعتمادا كليا على قانون ارخميدس . فقد حفر الغواصون فى قاع البحر تحت هيكل السفينة الغارقة ، ١٢ نفقا ، ومدّوا فى داخل كل نفق سلسلة فولاذية متينة . وكانت اطراف هذه السلاسل تثبت فى عوامات مغطسة فى الماء الى جانب محطمة الجليد الغارقة . وكان كل هذا العمل قد أنجز على عمق ٢٥ م تحت سطح البحر .

وكانت تلك العوامات (شكل ٥٠) ، تتألف من اسطوانات حديدية مجوفة سدودة للماء ، يبلغ طول كل منها ١١ م وقطرها ٥٫٥ م وقد بلغ وزن كل اسطوانة مجوفة ٥٠ طنا . وباستخدام القوانين الهندسية يمكن بسهولة حساب حجم هذه الاسطوانة ، ويبلغ حوالى ٢٥٠ م^{٣} . ومن البديهى ان مثل هذه الاسطوانة المجوفة ، يجب ان تطفو على سطح

الماء ؛ لانها تزيح ٢٥٠ طنا من الماء ، بينما لا يزيد وزنها على ٥٠ طنا . وبذلك فان قوتها الدافعة تساوى ٢٥٠ ـ ٥٠ = ٢٠٠ طن . ولتغطيس الاسطوانة وانزالها الى قاع البحر ، تملأ بالماء .

وبعد ان تثبت اطراف السلاسل الفولاذية ، تثبيتا قويا فى تلك العوامات المغطسة (انظر الشكل ٥٠) ، يتم ضخ الهواء المضغوط الى داخل كل منها ، بواسطة خراطيم الهواء . ان الماء الموجود على عمق ٢٥ م ، يضغط بقوة قدرها $\frac{٢٥}{١٠}$ + ١ = ٣٫٥ ضغط جوى . ولكن الهواء قد ضخ الى داخل العوامات بقوة قدرها ٤ ضغوط جوية ؛ اذن ، لابد للهواء المضغوط من ازاحة الماء الموجود فى داخل العوامات وطرده الى الخارج . وهنا يبدأ الماء المحيط بهذه العوامات المخففة الوزن ، بدفعها الى سطح البحر بقوة كبيرة جدا ، حتى تطفو على الماء بخفة ، كما يتعلق المنطاد فى الهواء . ان القوة الدافعة المشتركة لهذه العوامات ، عند تفريغها من الماء كليا ، تساوى ١٢×٢٠٠ = ٢٤٠٠ طن . وهذا المقدار اكبر من وزن السفينة الغارقة « سادكو » ، ولذلك تفرغ العوامات من الماء بصورة جزئية ، لكى يتم انتشال السفينة برفق . ومع هذا ، فان عملية الانتشال لم تنجح الا بعد عدة محاولات فاشلة .


شكل ٥٠ : الطريقة التى تم بواسطتها رفع محطمة الجليد « سادكو » . ويبين الشكل المقطع العرضى لمحطمة الجليد والعوامات وسلاسل الرفع .

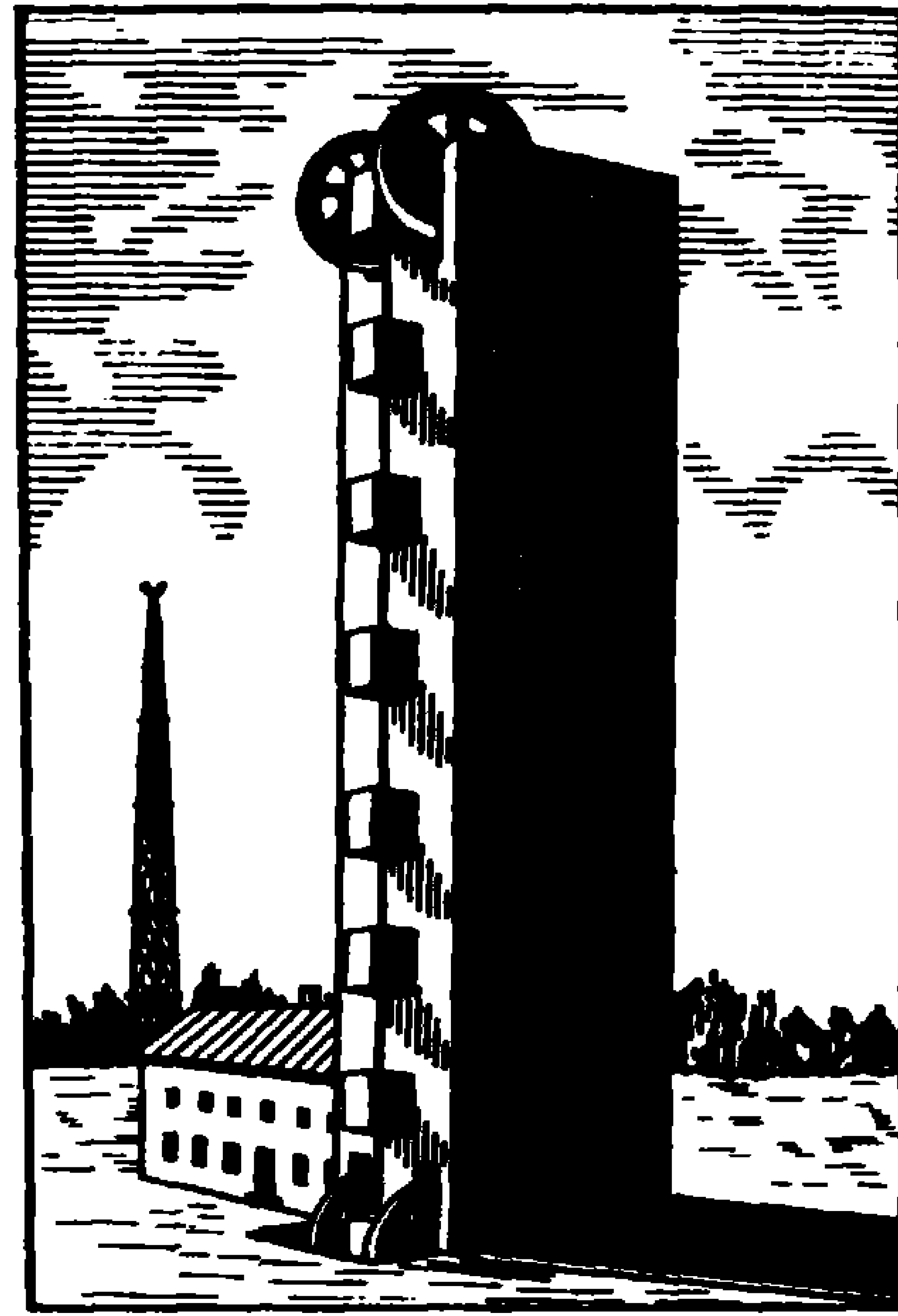
وقد كتب المهندس المشرف على عملية الانتشال المذكورة بوبريتسكى ، ما يلى :

« لقد تعرضت فرقة الانتشال الى اربع حوادث مؤسفة ، قبل ان تنجح فى انجاز هذه العملية. ثلاث مرات ونحن ننتظر ظهور السفينة بقلق ، ولكننا رأينا بدل محطمة الجليد المنتظرة ، العوامات المسطحة القاع وقد شقت طريقها الى سطح الماء بصورة

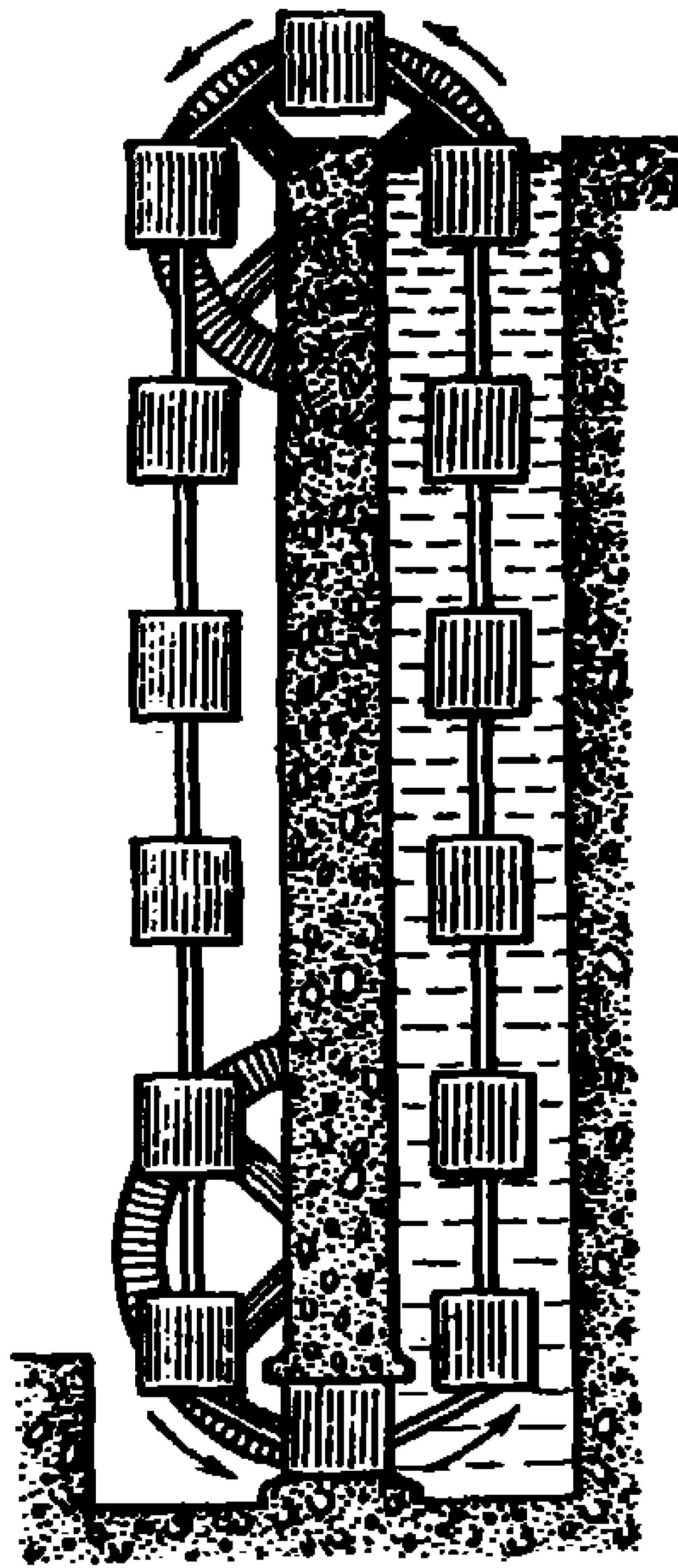
عفوية ، وسط الزبد والامواج الصاخبة ، وقد جرت معها الخراطيم المتقطعة . وقد ظهرت محطمة الجليد على سطح الماء مرتين ، ثم غاصت الى قاع البحر ، قبل ان تطفو بصورة نهائية على سطح الماء » .

محرك مائى «دائم الحركة»

من بين التصاميم العديدة للمحرك « الدائم الحركة » ، كان هناك عدد لا بأس به من التصاميم المبنية على قانون طفو الاجسام فى الماء . وقد كان أحدها على هيئة برج عال مملوء بالماء ، بلغ ارتفاعه ٢٠ م . وقد وضعت فى اعلى البرج وفى اسفله ، بكرات يلتف حولها حبل متين على هيئة سير متواصل . وربط فى هذا السير ١٤ صندوقا مكعبا فارغا ، بلغ ارتفاع كل منها مترا واحدا ، وكانت مصنوعة من صفائح حديدية ، حيث لا ينفذ الماء الى داخلها .



شكل ٥١ : تصميم تخيلى لمحرك مائى « دائم الحركة » .



شكل ٥٢ : تركيب البرج المبين فى الشكل السابق .

والشكلان ٥١ و٥٢ يبينان كلا من المنظر الخارجي للبرج المذكور ، ومقطعه العرضي على التوالي .

والآن ، كيف كان من المتوقع ان يشتغل هذا الجهاز ؟ ان كل من يعرف قانون ارخميدس ، يدرك بانه عند وجود الصناديق فى الماء ستحاول ان تطفو الى السطح . والقوة التى تدفعها الى الاعلى تساوى وزن الماء الذى تزيحه الصناديق المذكورة ، اى وزن متر مكعب من الماء ، مضروبا فى عدد الصناديق المغمورة فى الماء . ويتضح من الشكلين السابقين ان هناك ستة صناديق مغمورة فى الماء باستمرار . وهذا يعنى ان القوة التى تدفع الصناديق المغمورة الى الاعلى تساوى وزن ستة امتار مكعبة من الماء ، اى ٦ اطنان . اما القوة التى تسحب الصناديق الى الاسفل ، فهى الوزن الذاتى للصناديق ، الذى يتوازن مع ثقل الصناديق الستة الاخرى المعلقة بحرية فى الجهة الخارجية للحبل .

وهكذا ، سيكون الحبل الملفوف بهذا الشكل معرضا لشد قدره ٦ اطنان ، يؤثر على احدى جهتيه ويسحبها الى الاعلى . ومن الواضح ان هذه القوة ستجبر الحبل على الدوران المستمر ، منزلقا على البكرات ، كما انه سينجز فى كل دورة شغلا قدره ٦٠٠٠×٢٠ = ١٢٠٠٠٠= كجم . م .

ويفهم من ذلك اننا اذا اقمنا مثل هذه الابراج فى طول البلاد وعرضها ، لحصلنا منها على كمية هائلة من الشغل ، تكفى لتغطية كافة احتياجات الاقتصاد الوطنى ، حيث ستقوم هذه الابراج بتدوير اعضاء الانتاج فى المولّدات الكهربائية ، وتوليد كل ما نحتاجه من الطاقة الكهربائية .

ولكن عندما نتأمل هذا المشروع بدقة ، نقتنع بسهولة ، بان حركة الحبل المتوقعة لن تحدث مطلقا .

ولاجل ان يدور الحبل باستمرار ، يجب ان تدخل الصناديق الى حوض الماء التابع للبرج من الاسفل ، وتخرج منه من الاعلى . ولكن دخول الصندوق الى حوض الماء يتطلب التغلب على ضغط عمود من الماء ارتفاعه ٢٠ م ! وهذا الضغط لا يقل عن ٢٠ طنا على كل متر مربع من مساحة الصندوق (يساوى وزن ٢٠ م^{3} من الماء) .

اما الشد الى الاعلى فيساوى ٦ اطنان فقط ، اى انه لا يكفى مطلقا لادخال الصندوق فى حوض الماء .

ومن بين النماذج الكثيرة العدد للمحركات المائية « الدائمة الحركة » ، التى كانت عدة مئات منها من ابتكار مخترعين فاشلين ، يمكن العثور على بعض النماذج البسيطة والماهرة الصنع فى نفس الوقت .

ويبين الشكل ٥٣ احد هذه النماذج . ان احد اجزاء الطبلة الخشبية المثبتة على محور يكون طول الوقت مغمورا فى الماء . فاذا كان قانون ارخميدس صحيحا ، فان الجزء المغمور فى الماء يجب ان يطفو الى السطح ، ولما كانت القوة الدافعة اكبر من قوة الاحتكاك فى المحور ، اذن يجب ان تستمر الطبلة فى الدوران بلا توقف . واذا استعجل القارئ فى تركيب مثل هذا المحرك « الدائم الحركة » فسيكون حليفه الفشل حتما ، لان الطبلة سوف لن تتحرك قيد شعرة . ما هو السبب ، وأين يكمن الخطأ فى نقاشنا ؟ يبدو اننا لم نأخذ فى الاعتبار اتجاه القوى المؤثرة ، التى تكون دائما متجهة بصورة عمودية على سطح الطبلة ، اى تأخذ اتجاه انصاف الاقطار بالنسبة للمحور . والكل يعرف من التجارب اليومية ، بانه لا يمكن تدوير العجلة اذا كان اتجاه القوة المؤثرة فيها هو نفس اتجاه نصف قطر العجلة . ولكى يحدث الدوران يجب ان تؤثر القوة بصورة عمودية على نصف القطر ، اى باتجاه مماس محيط العجلة . ومن السهل ان نفهم الآن ان محاولة تحقيق الحركة « الدائمة » فى حالتنا هذه ، ستبوء بالفشل حتما .

وقد أغرى قانون ارخميدس عقول الباحثين عن المحرك « الدائم الحركة » ، وحفّزهم على اختراع أجهزة حاذقة الصنع ، للاستفادة من الفقدان الظاهر فى الوزن وللحصول على مصدر دائم للطاقة الميكانيكية . ولكن ، لم ولن يكتب النجاح لاية محاولة من هذه المحاولات .

مسألة بسيطة فى الظاهر

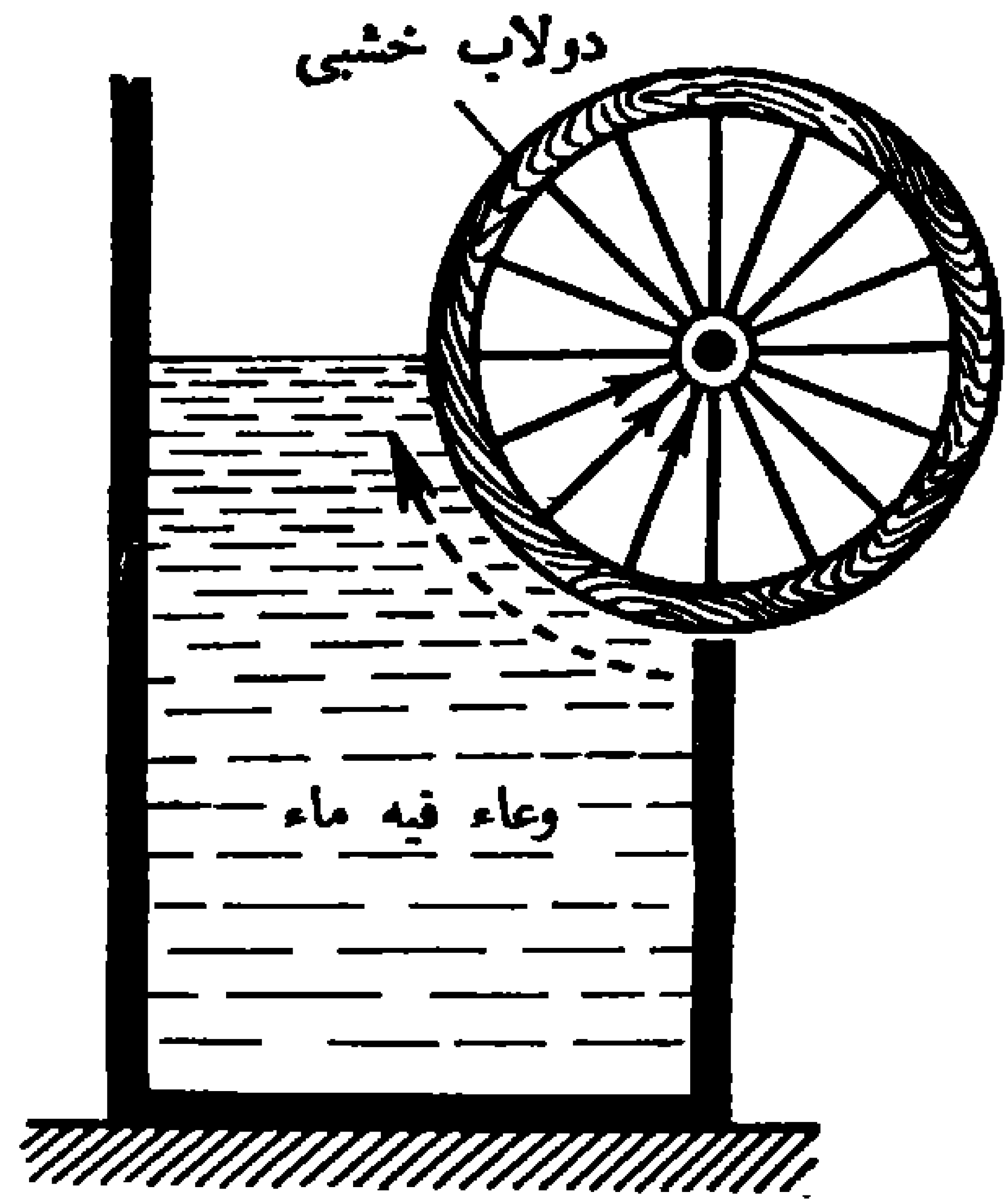
لنفرض ان لدينا وعاء مملوءا بالماء ، يتسع لثلاثين قدحا من الماء . نضع القدح تحت صنبور الوعاء وننظر الى ساعة يدنا ، ثم نفتح الصنبور ونحسب عدد الثوانى التى

يستغرقها ملء القدح حتى نهايته . لنفرض ان القدح امتلأ في ٣٠ ثانية . والان نطرح السؤال التالى : ما هو الوقت اللازم لتفريغ الوعاء تماما ، اذا تركنا الصنبور مفتوحا ؟

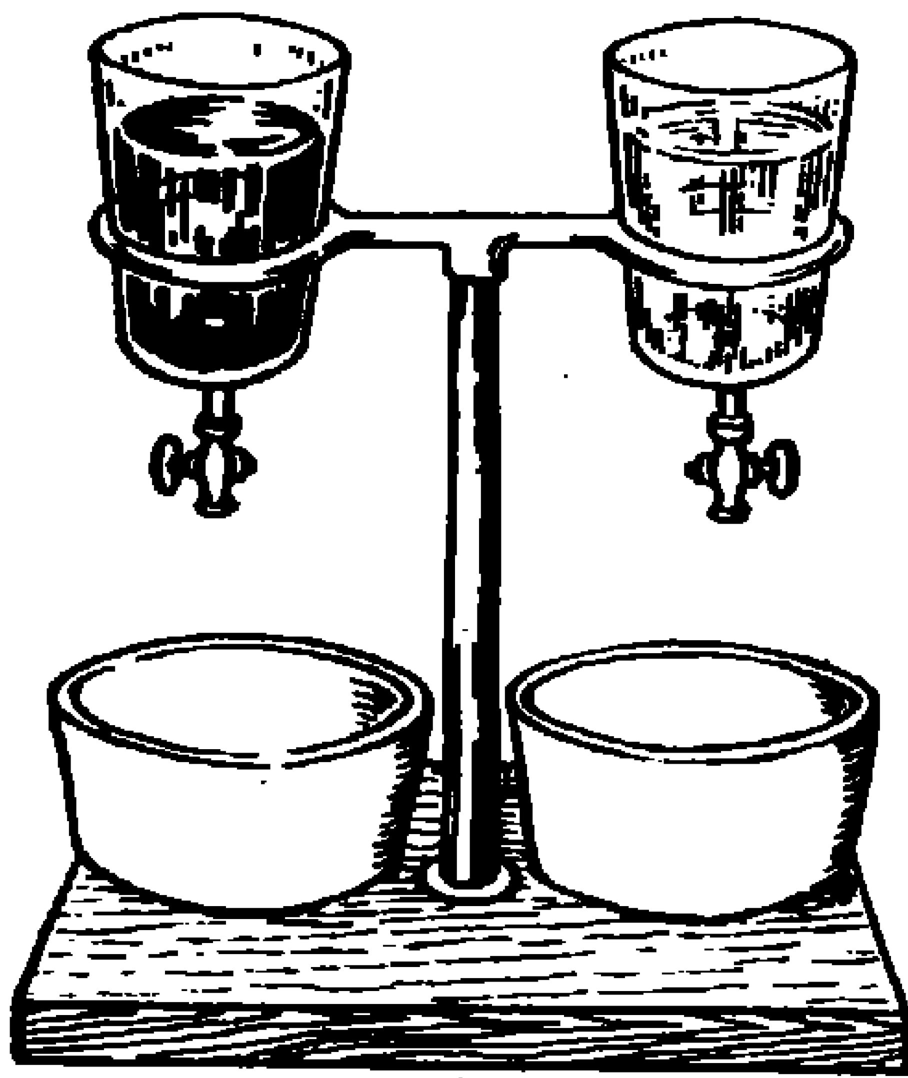
يبدو لاول وهلة ان هذه مسألة حسابية بسيطة خاصة بالاطفال : فاذا كان الماء يخرج من الوعاء بمعدل قدح واحد فى كل نصف دقيقة ، يكون الوقت اللازم لخروج ثلاثين قدحا من الماء مساويا لـ ١٥ دقيقة . ولكن اذا أجرينا هذه التجربة ، سنرى ان الوعاء لن يفرغ فى مدة ربع ساعة كما توقعنا ، بل نصف ساعة .

ما هو السبب ؟ ان الحساب كان يبدو بسيطا جدا !

نعم ، ان الحساب بسيط ، ولكننا لم نجره بصورة صحيحة . اذ لا يجوز ان نعتبر ان سرعة جريان الماء من الصنبور تبقى ثابتة من البداية الى النهاية . وبعد ان ينصب القدح الاول من الوعاء ، يتدفق الماء تحت ضغط أقل من السابق ، وذلك لان مستوى الماء الموجود فى الوعاء يصبح منخفضا . ويتضح من ذلك ان القدح الثانى يمتلئ فى مدة تزيد على نصف دقيقة ، ويمتلئ القدح الثالث فى مدة تزيد على ذلك وهكذا .



شكل ٥٣ : تصميم آخر لمحرك مائى « دائم الحركة » .



شكل ٥٤ : اى السائلين يندلق اسرع من الآخر ، الكحول ام الزئبق ؟ ان مستوى السائلين الموضوعين فى الاناءين متساو .

ان سرعة تدفق أى سائل كان ، من فتحة فى اناء مفتوح ، تتناسب تناسبا طرديا مع ارتفاع عمود السائل الموجود فوق الفتحة المذكورة . وكان توريتشيلى العبقرى ، تلميذ غاليليو ، أول من أشار الى هذه العلاقة ووضع صيغتها البسيطة التالية :

$$س = \sqrt{٢ ج ع}\text{ ،}$$

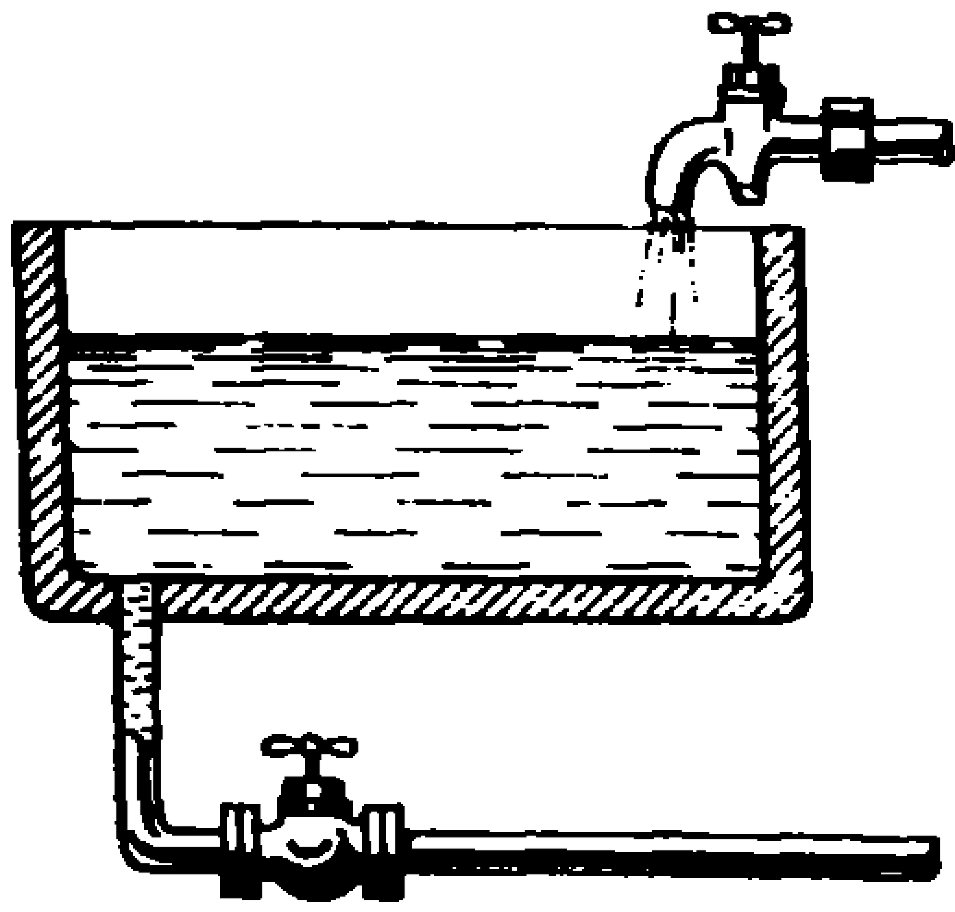
حيث س = سرعة تدفق السائل ،
ج = تسارع الجاذبية ،
ع = ارتفاع عمود السائل فوق الفتحة .

وينتج من هذه الصيغة ان سرعة تدفق السائل لا تعتمد مطلقا على كثافته ، حيث يتدفق كل من الكحول الخفيف والزئبق الثقيل الوزن من الفتحة بسرعة واحدة ، اذا تساوى مستواهما (شكل ٥٤) . ويتضح من الصيغة انه فى حالة وجودنا على سطح القمر . حيث تكون قوة الجاذبية أقل بست مرات مما هى عليه فوق سطح الارض ، فاننا سنحتاج لاجل ملء القدح الى فترة زمنية تزيد بمقدار ٢٫٥ مرة تقريبا على الفترة الزمنية التى نحتاجها على الارض .

نعود الآن الى المسألة السابقة . اذا فرضنا انه بعد خروج ٢٠ قدحا من الماء من الوعاء انخفض مستوى الماء الموجود فيه الى الربع (ابتداء من فتحة الصنبور) ، فان القدح الـ ٢١ سيمتلئ فى ضعف الفترة الزمنية التى استغرقها ملء القدح الاول . واذا فرضنا ان مستوى الماء انخفض فيما بعد الى $\frac{١}{٩}$ ما كان عليه فى البداية ، فان الفترة الزمنية اللازمة لملء كل قدح من الاقداح الاخيرة ستساوى ثلاثة اضعاف الفترة الزمنية التى استغرقها ملء القدح الاول . وبحل هذه المسألة بواسطة الرياضيات العالية ، يمكننا ان نثبت بان الوقت اللازم لتفريغ الوعاء تماما يساوى ضعف الوقت اللازم لتفريغه اذا حافظ السائل المتدفق على نفس المستوى الابتدائى طول الوقت .

ان كل ما ذكرته أعلاه قريب جدا من المسائل السيئة الصيت المتعلقة بحوض الماء ، التى تصادف القارئ فى كل كتاب من كتب المسائل الحسابية والجبرية . والجميع يتذكر تلك المسائل المدرسية التقليدية المملة ، مثل المسألة الآتية :

« حوض ماء يحتوى على ماسورتين ، احداهما تملأ الحوض الفارغ بالماء في مدة ٥ ساعات ، والثانية تفرغ الحوض الملآن في مدة ١٠ ساعات . احسب الوقت اللازم لملء الحوض الفارغ اذا فتحنا الماسورتين معا » .



شكل ٥٥ : مسألة حوض الماء .

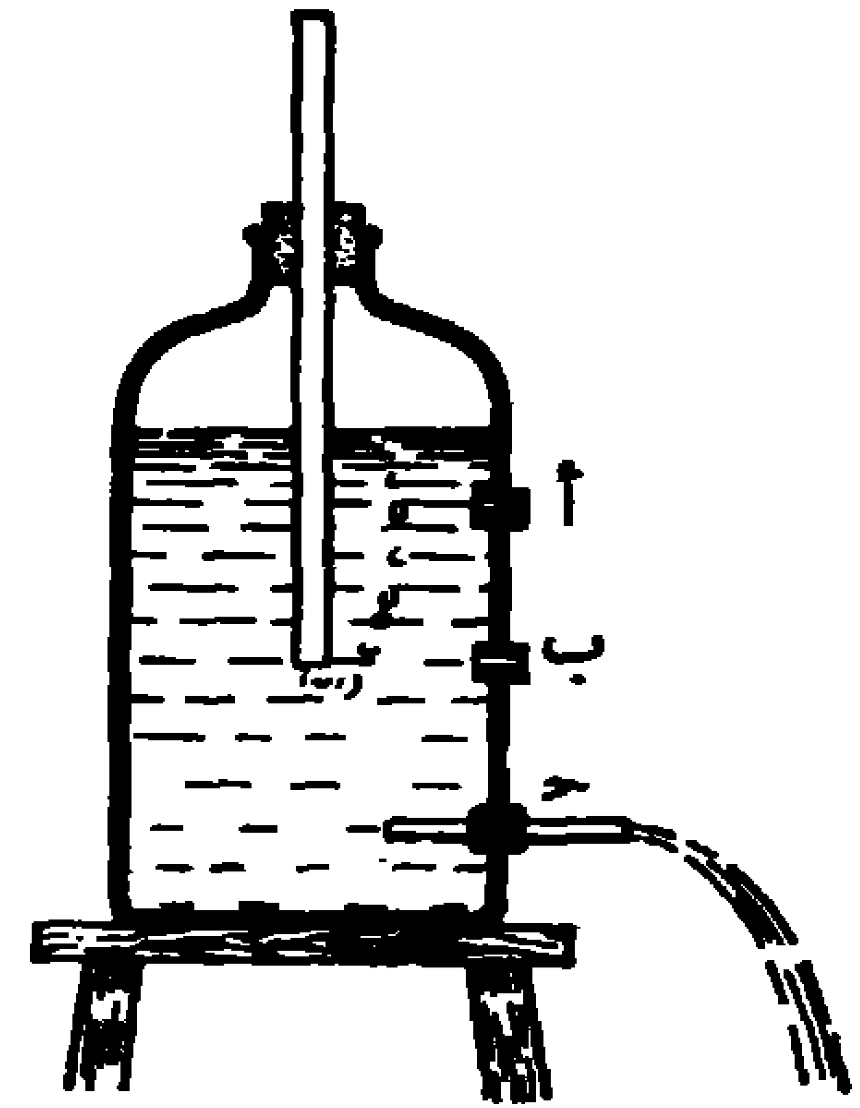
ان لهذه المسألة تاريخا جديرا بالتقدير ، يمتد الى عشرين قرنا من الزمن على الاقل ، حيث وضعها لاول مرة هيرون الاسكندرى . عشرون قرنا مضى وما زال الناس ، بحكم العادة ، يمارسون حل هذه المسائل ، بصورة خاطئة . والبحث المذكور أعلاه حول تدفق الماء يجعل القارئ يدرك بسهولة اين يكمن الخطأ . كيف يعلموننا حل مثل هذه المسائل ؟ انهم يحلون المسألة السابقة، مثلا ، كما يلى : فى ساعة واحدة تملأ الماسورة الاولى $\frac{١}{٥}$ الحوض، وتفرغ الماسورة الثانية $\frac{١}{١٠}$ الحوض ، اى عند فتح كلتا الماسورتين معا يبلغ حجم الماء المتراكم في الحوض فى كل ساعة واحدة $\frac{١}{٥} - \frac{١}{١٠} = \frac{١}{١٠}$ حجم الحوض . وينتج من ذلك ان الوقت اللازم لملء الحوض الى نهايته يساوى ١٠ ساعات . ان هذا الحل خاطئ ، وذلك لاننا اذا اعتبرنا ان تدفق الماء يحدث تحت ضغط ثابت ، وبالتالى منتظم ، فان تدفقه يحدث مع تغير مستواه ، وهذا يعنى انه لا

يتدفق بصورة منتظمة . وعندما يقال بان الماسورة الثانية تفرغ الحوض في ١٠ ساعات ، فان ذلك لا يعني مطلقا ان مقدار ما يفرغ من الحوض في الساعة الواحدة يساوى $\frac{١}{١٠}$ الحوض . وهكذا نرى ان الحل المدرسي لهذه المسألة هو حل خاطئ . ان الحساب البسيط لا يمكننا من حل هذه المسألة بصورة صحيحة ، ولهذا السبب يجب عدم حشر المسائل المتعلقة بالاحواض التي يتدفق منها الماء ، بين المسائل الحسابية المدرسية .

الوعاء العجيب

هل يمكن صنع وعاء يتدفق منه الماء باستمرار بصورة منتظمة ، بدون ان تقل سرعة تدفقه ، بغض النظر عن انخفاض مستوى سطح الماء ؟ ربما يعتقد القارئ ، بعد البحث الذي قرأه أعلاه ، بان صنع مثل هذا الوعاء غير ممكن .

الا ان هذا الامر ممكن التحقيق تماما ، وما القنينة الزجاجية المبينة في الشكل ٥٦ ، الا مثال لهذا الوعاء العجيب . وقد أدخلت في سدادة العنق الضيق لهذه القنينة العادية أنبوبة زجاجية . فاذا فتحنا الصنبور حـ الواقع تحت نهاية الانبوبة ، فان السائل سيتدفق منه بسرعة ثابتة الى ان ينخفض مستوى الماء الموجود في القنينة الى النهاية السفلى للانبوبة . وبتخفيض الانبوبة الى مستوى الصنبور تقريبا ، نستطيع جعل كل الماء الموجود فوق مستوى الفتحة يتدفق بانتظام ، ولو بصورة بطيئة جدا .



شكل ٥٦ : المقطع العرضي لقنينة ماريوت. ان الماء يتدفق من الفتحة بصورة منتظمة .

كيف يحدث ذلك ؟ لنتتبع نظريا ما يحدث في القنينة عند فتح الصنبور حـ (شكل ٥٦) . عند تدفق الماء الموجود في القنينة ينخفض مستواه ، وفي هذه الاثناء يدخل الهواء الخارجي من خلال الانبوبة الزجاجية ويختلط بالهواء المخلخل الموجود

فوق الماء ، بعد ان يتسرب عبر الماء الى الاعلى ، على هيئة فقاعات تتجمع فوق الماء في القسم العلوي من القنينة . وبهذا الشكل يصبح الضغط المؤثر على مستوى السدادة ب برمّته مساويا للضغط الجوى . وهذا يعنى ان الماء يتدفق من الصنبور ح تحت تأثير ضغط طبقة الماء ب ح فقط ، لان الضغط الجوى من داخل القنينة يعادل الضغط الجوى من خارجها . ولما كان سمك الطبقة ب ح ثابتا على الدوام ، اذن ليس هناك ما يدعو الى العجب اذا رأينا ان تيار الماء يتدفق بسرعة واحدة طول الوقت .

والآن ، ليحاول القارئ الاجابة على السؤال التالى : باية سرعة سيتدفق الماء اذا رفعنا السدادة ب الواقعة في مستوى نهاية الانبوبة ؟

سنرى في هذه الحالة ان الماء لن يتدفق بتاتا (هذا طبعا اذا كانت الفتحة صغيرة جدا بحيث يمكن اهمال عرضها ، والا فان الماء سيتدفق تحت ضغط طبقة الماء الرقيقة التي يكون سمكها مساويا لعرض الفتحة) . وفي الحقيقة ، فان كلا من الضغطين الداخلى والخارجى يكون في هذه الحالة مساويا للضغط الجوى ؛ اذن ليس هناك ما يدعو الى تدفق الماء .

اما اذا رفعنا السدادة أ ، الواقعة فوق النهاية السفلى للانبوبة ، فسنرى بان الهواء الخارجى سيدخل الى القنينة ، بدلا من تدفق الماء منها . ما هو سبب ذلك ؟ ان السبب بسيط جدا ، وهو ان الضغط في داخل هذا الجزء من القنينة اقل من الضغط الجوى الخارجى .

ان مخترع هذا الوعاء الذى له مثل هذه الخواص العجيبة ، هو الفيزيائى الشهير ماريوت ، وقد أطلق على ذلك الوعاء اسم « قنينة ماريوت » .

حمل من الهواء

في منتصف القرن السابع عشر شاهد سكان مدينة ريجنسبرج وامراء المانيا الذين قدموا الى تلك المدينة وعلى رأسهم الامبراطور ، عرضا مدهشا للغاية . كان هناك ستة عشر حصانا تحاول بكل طاقتها فصل نصفى كرة من النحاس ملتصقين ببعضهما . ما

هى المادة التى استخدمت فى لصق نصفى الكرة ؟ « لا شىء » ، أى الهواء ! ومع ذلك ، فان الستة عشر حصانا التى كانت ثمانية منها تسحب فى اتجاه والثمانية الباقية فى اتجاه معاكس ، لم تستطع فصل نصفى الكرة عن بعضهما . وهكذا أثبت رئيس البلدية الالمانى أوتو فون جيريكه صاحب هذه التجربة بان الهواء ليس « لا شىء » مطلقا ، لان للهواء وزنا ، وهو يضغط بقوة كبيرة على كافة الاشياء الموجودة على سطح الارض .

وقد اجريت هذه التجربة فى ٨ مايو (أيار) عام ١٦٥٤ ، وسط احتفال مهيب . وقد استطاع رئيس البلدية العالم ان يثير اهتمام الجميع بابحاثه العلمية ، بغض النظر عن الاضطرابات السياسية والحروب الجائحة ، التى كانت مستعرة الأوزار فى ذلك الوقت .

ومع ان وصف تجربة أوتو فون جيريكه موجود فى معظم كتب الفيزياء المدرسية ، الا اننى متأكد من ان القارىء سيجد متعة فى مطالعة وصف هذه التجربة ، كما جاء على لسان جيريكه بالذات — ذلك العالم الفيزيائى البارز الذى كان يدعى احيانا بـ « غاليليو الالمانى » . وقد صدر فى أمستردام عام ١٦٧٢ كتاب ضخم باللغة اللاتينية ، يضم وصفا لعدد كبير من تجارب هذا العالم . وقد كان عنوان هذا الكتاب طويلا ومسهبا ، كبقية عناوين الكتب التى كانت تصدر فى ذلك الوقت . ونقدم للقارىء فيما يلى عنوان الكتاب المذكور .

أوتو فون جيريكه

التجارب المسماة بتجارب ماجدبرج الجديدة ، الخاصة بدراسة

الفراغ الخالى من الهواء

وهى التجارب التى وصفها فى الاصل أستاذ الرياضيات فى جامعة فورتسبرج ، كاسبار شوت .

طبع الكتاب على نفقة المؤلف ،

وهو اكثر شمولا مما هو معروف وفيه مزيد من التجارب الجديدة .

والفصل الثالث والعشرون من ذلك الكتاب ، هو الفصل الخاص بوصف هذه التجربة التي تهمنا ، واليكم الترجمة الحرفية لهذا الوصف :

« تجربة تثبت ان ضغط الهواء يعمل على لصق نصفي الكرة لصقا قويا بحيث لا يمكن فصلهما عن بعض ، حتى باستخدام ستة عشر حصانا » .

« لقد أوصيت بصنع نصفي كرة من النحاس ، بقطر يساوى ثلاثة ارباع ذراع قياس الاقمشة المستخدم فى مدينة ماجدبرج * . ولكن القطر كان فى الواقع يساوى $\frac{٦٧}{١٠٠}$ من الذراع المذكور فقط ، وذلك لان « الصناع المهرة » لم يتمكنوا كعادتهم من صنع الشيء الذى طلبته منهم بدقة تامة . وكان نصفا الكرة متطابقين تماما ، وكان احدهما متصلا بصنبور يمكن بواسطته طرد الهواء من الداخل ، ومنع دخول الهواء من الخارج . وبالاضافة الى ذلك ، فقد ثبتت فى نصفى الكرة أربع حلقات لادخال الحبال المربوطة بطقوم الحصن . وأوصيت كذلك بصنع حلقة جلدية مشبعة بمزيج من الشمع وزيت التربنتينا ، ثم وضعت هذه الحلقة بين نصفى الكرة لتمنع دخول الهواء الى داخلهما . وبعد ذلك ادخلت فى الصنبور فوهة مضخة الهواء ، التى سحبت الهواء من داخل الكرة . وهنا تجلت القوة التى لصقت نصفى الكرة مع بعضهما ، وبينها الحلقة الجلدية . ان ضغط الهواء الخارجى لصق نصفى الكرة بقوة كبيرة ، بحيث لم يكن باستطاعة ستة عشر حصانا فصل نصفى الكرة عن بعضهما ، الا بصعوبة بالغة . وعندما استطاعت الحصن فصل نصفى الكرة بكل ما لديها من قوة ، دوت فى الجو قرقعة تشبه لعلعة الرصاص .

ولكن فتح الصنبور الذى يسمح للهواء بالدخول الى الكرة بحرية ، كان كافيا ليجعلنا نفصل نصفى الكرة عن بعضهما بسهولة ، بيدينا فقط » .

وبعملية حسابية بسيطة نستطيع ان نوضح سبب حاجتنا الى مثل هذه القوة الكبيرة (ثمانية حصن فى كل جهة) ، لفصل نصفى الكرة الفارغة . ان الهواء يضغط بقوة

---

* ان ذراع قياس الاقمشة فى ماجدبرج يساوى ٥٥٠ مم .

تقدر بحوالى ١ كجم على سنتمتر مربع . ومساحة الدائرة * التى يبلغ قطرها ٦٧ر٠ ذراع (٣٧ سم) ، تساوى ١٠٦٠ سم٢ . وهذا يعنى ان ضغط الهواء المؤثر على كل من نصفى الكرة يجب ان يزيد على ١٠٠٠ كجم (طن واحد) . وبالتالى ، كان يتحتم على كل ثمانية حصن ان تسحب بقوة قدرها ١ طن ، لمقاومة ضغط الهواء الخارجى .

ويبدو ان الطن الواحد لا يمثل حملا ثقيلا بالنسبة لثمانية حصن . ولكن يجب الا ننسى بان هذه الحصن ، عندما تسحب حملا يزن طنا واحدا ، فانها لا تكون بذلك قد تغلبت على قوة تساوى طنا واحدا ، بل أقل من ذلك بكثير ، وهى بالذات قوة احتكاك العجلات بالمحور وبالطريق . وهذه القوة — على الطريق ، مثلا — تساوى ٥٪ من الوزن فقط ، اى ٥٠ كجم عندما يبلغ وزن الحمل طنا واحدا (هذا بغض النظر عن الواقع الذى يؤكد بان ٥٠٪ من قوة السحب تفقد عندما يتم السحب بواسطة ثمانية حصن مربوطة مع بعضها) . وهكذا نستنتج ان سحب الطن الواحد يعادل بالنسبة للحصن الثمانية سحب عربة تزن ٢٠ طنا . وهذا هو حمل الهواء ، الذى تحتم على حصن رئيس بلدية ماجدبرج ان تقوم بجره . ونقول فى معرض التشبيه بانه كان من المحتم على تلك الحصن ان تسحب قاطرة صغيرة ، تتميز عن غيرها بعدم وجود قضبان السكة الحديدية تحت عجلاتها .

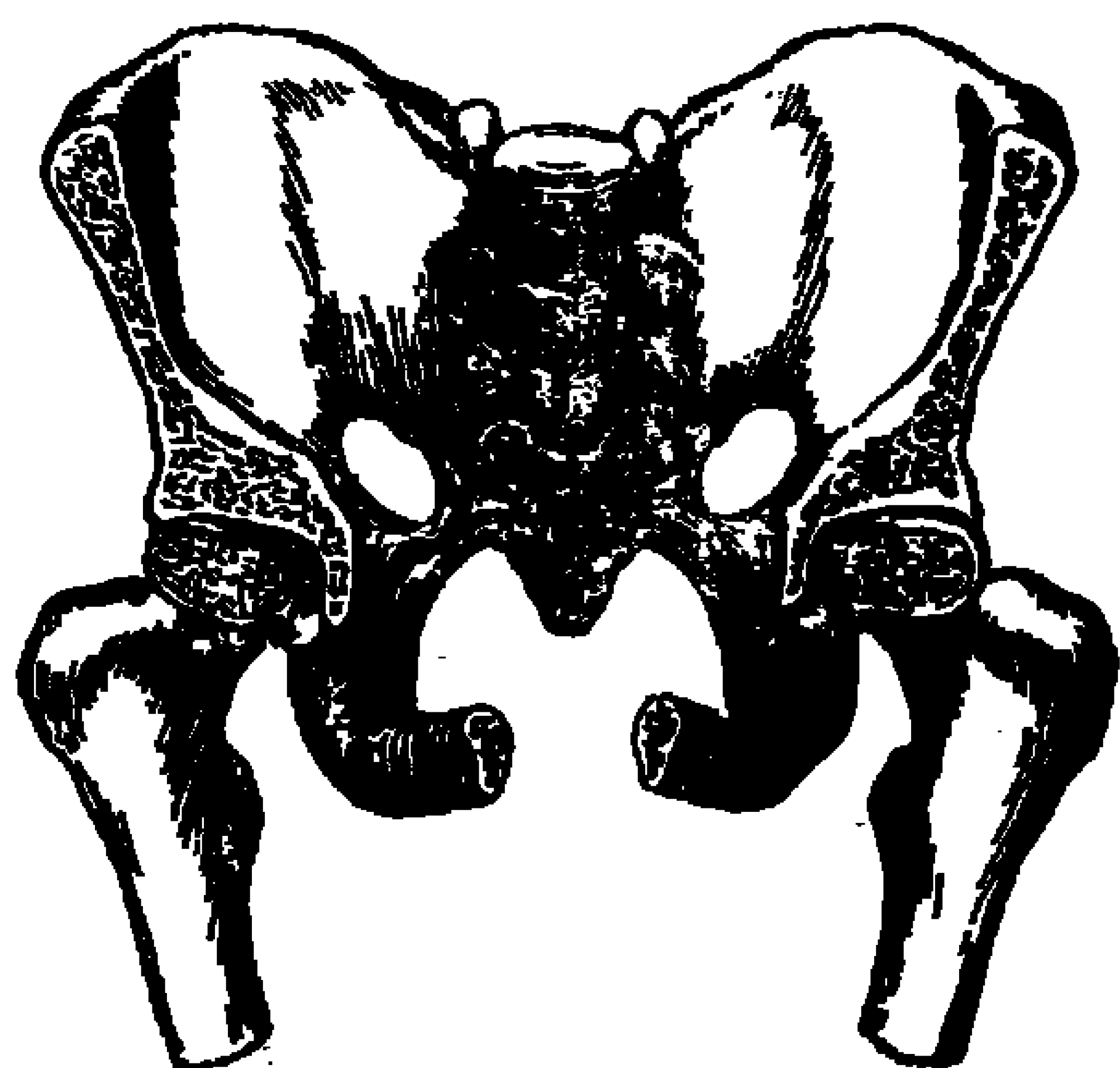
وقد أثبتت القياسات ان الكديش القوى يسحب عربة النقل بقوة تساوى ٨٠ كجم** فقط . وينتج من هذا انه لفصل نصفى كرة ماجدبرج عن طريق سحبها بجهد ثابت ، كان لا بد من استخدام عدد من الحصن يساوى $\frac{١٠٠٠}{٨٠}$ = ١٣ حصانا من كل جهة .

---

* تؤخذ مساحة الدائرة ، لا مساحة سطح نصف الكرة ، لان الضغط الجوى يساوى المقدار المذكور اعلاه ، فى حالة واحدة فقط ، هى عند تأثيره على السطح بصورة عمودية . اما بالنسبة للسطوح المائلة فتقل قيمة الضغط المذكورة . وفى هذه الحالة تأخذ مسقط نصف الكرة ، العمودى على المستوى الافقى ، اى نأخذ مساحة الدائرة الكبرى .

** عند السير بسرعة ٤ كم/ساعة ، تساوى قوة السحب عند الحصان فى المعدل ١٥ ٪ من وزنه ، مع العلم بان وزن حصان السباق يبلغ ٤٠٠ كجم ، ووزن الكديش يبلغ ٧٥٠ كجم. ولفترة قصيرة جدا (الجهد الابتدائى) يمكن ان تتضاعف قوة السحب عدة مرات .

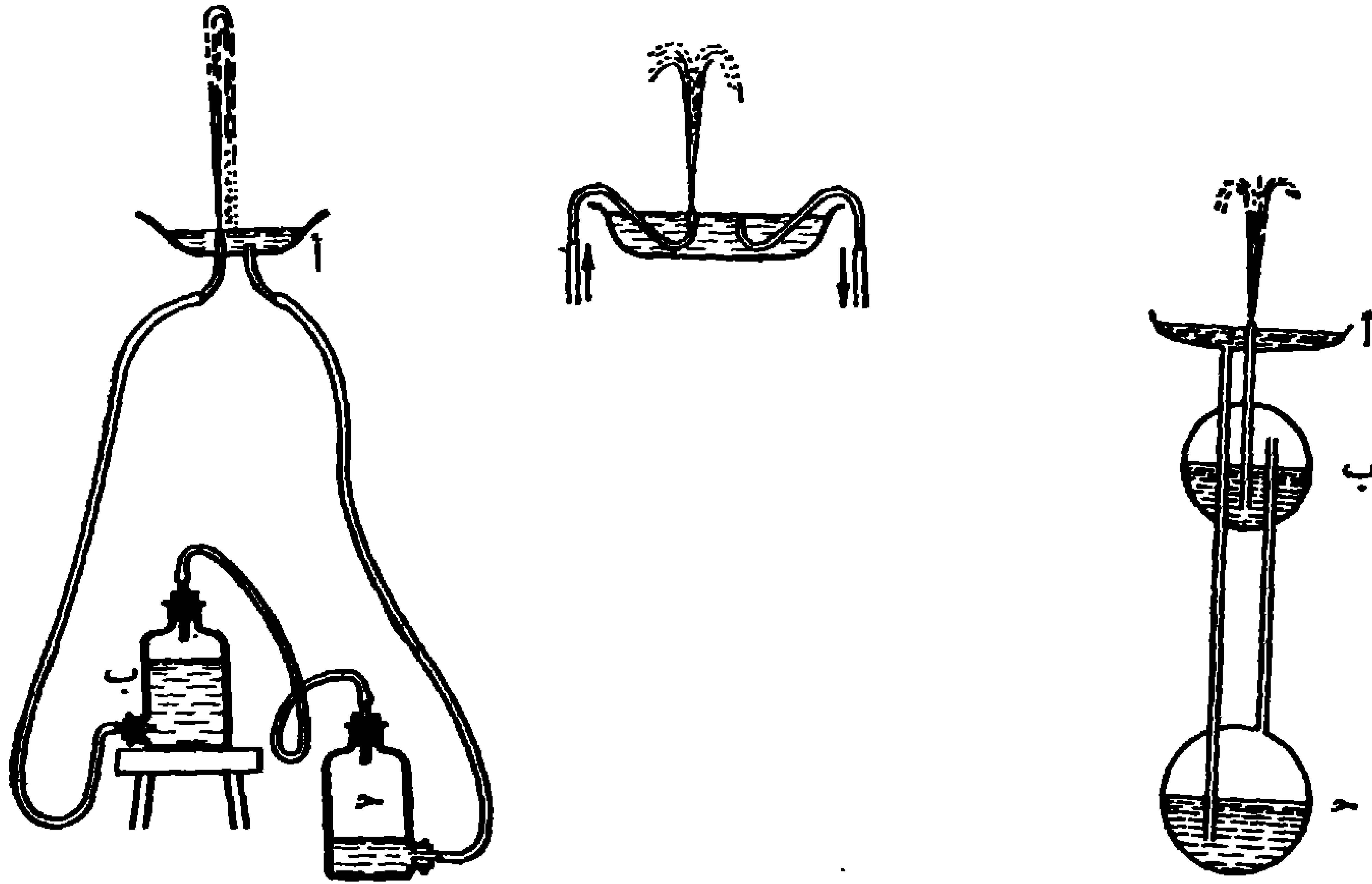
وسيندهش القارئ عندما يعلم بان بعض مفاصل الهيكل العظمى للانسان تحافظ على تماسكها المتين بفضل نفس العامل الذى أدى الى تماسك نصفى كرة ماجدبرج. ان المفصل الحاقفى للانسان عبارة عن تركيب شبيه بنصفى كرة ماجدبرج بالذات . حتى اننا اذا جردناه من العضلات والغضاريف ، لرأينا مع ذلك ان الورك لن يتفكك ، ذلك لان الضغط الجوى يجعله متماسكا بثبات ، حيث لا وجود للهواء فى الفراغ الموجود بين المفاصل .



شكل ٥٧ : ان الضغط الجوى يعمل على تلاحم عظام حوض الانسان ، ويمنعها من الانفصال عن بعضها ، كما هى الحالة بالنسبة لنصفى كرة ماجدبرج .

نماذج حديثة من نافورة هيرون الاسكندرى

ربما يكون القراء قد اطلعوا على الشكل العادى للنافورة التى وصفها الميكانيكى هيرون الاسكندرى فى العصور القديمة . وسأشرح للقراء الان تركيب هذه النافورة العجيبة ، قبل الانتقال الى وصف النماذج الحديثة منها . تتألف نافورة هيرون (شكل ٥٨) من ثلاثة أوعية ، وهى الوعاء العلوى المفتوح أ ، والوعاءان الكرويان ب و حـ ، وهما مغلقان اغلاقا محكما. وتتصل هذه الاوعية مع بعضها بثلاثة أنابيب مركبة بالطريقة المبينة فى الشكل السابق . وعندما يوجد قليل من الماء فى الوعاء أ ، ويكون الوعاء ب مملوءا بالماء والوعاء حـ مملوءا بالهواء ، تبدأ النافورة عملها كما يلى : يجرى الماء من الوعاء أ الى الوعاء حـ خلال الانبوب الذى يصل بينهما ، ويطرد الهواء الموجود فى الوعاء حـ الى الوعاء ب . وتحت تأثير ضغط الهواء الداخل الى الوعاء ب ، يحاول الماء ان يتدفق من خلال الانبوب الى الاعلى ، ويشكل بذلك تيارا مائيا فوق الوعاء أ . وعندما يفرغ الوعاء ب من الماء الموجود فيه ، تتوقف النافورة عن العمل (أى يتوقف تدفق الماء) .



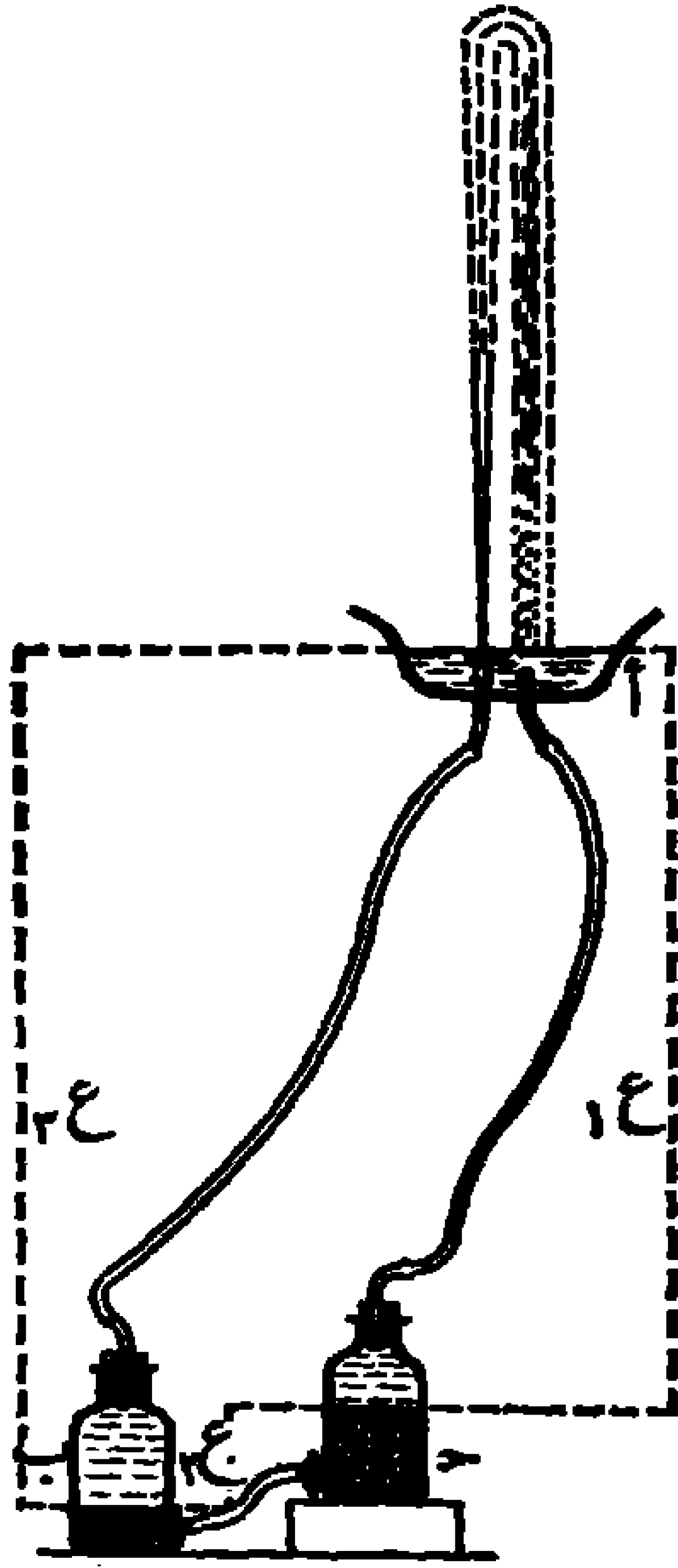
شكل ٥٨ : المقطع العرضى لنافورة هيرون الاسكندرى .

شكل ٥٩ : المقطع العرضى لنموذج مطور حديث من نافورة هيرون الاسكندرى. والشكل العلوى يبين أحد نماذج الوعاء أ.

هذه هى نافورة هيرون الاسكندرى القديمة . اما فى عصرنا هذا ، فقد قام احد معلمى الفيزياء فى ايطاليا — بعد ان وجد فى نفسه حافزا على الاختراع ، بدافع من ضآلة محتويات مختبره الفيزيائى — بتبسيط جهاز نافورة هيرون وابتكار نماذج اخرى منها ، يستطيع كل منا ان يركبها باستخدام ابسط الادوات والمواد (شكل ٥٩) . فقد استخدم قنينتى اختبار ، بدلا من الوعاءين الكرويين ، كما استخدم الانابيب المطاطية بدلا من الانابيب الزجاجية او المعدنية . ولم تعد هناك حاجة الى ثقب الوعاء العلوى من الاسفل لانه يمكن بسهولة مد اطراف الانابيب الى داخله ، كما هو مبين فى الرسم العلوى من الشكل ٥٩ .

وفى هذا النموذج الجديد للنافورة يكون الجهاز سهل الاستخدام للغاية ، وذلك لانه بعد ان يسيل الماء باجمعه من القنينة ب الى القنينة حـ بعد مروره بالوعاء أ ، يمكن

بسهولة وضع احدى القنينتين محل الاخرى ، ليبدأ تدفق الماء ثانية من النافورة . وبطبيعة الحال ، يجب الا ننسى تحويل فوهة النافورة من الانبوب الاول الى الانبوب الثانى . والناحية الاخرى المريحة فى هذا النوع الجديد من انواع هذه النافورة تتلخص فى امكانية تغيير وضع الاوعية (القنانى) كيفما نشاء ، ودراسة تأثير المسافة الموجودة بين مستويات الاوعية على ارتفاع الماء المتدفق .



شكل ٦٠ : نافورة تعمل بضغط الزئبق. ان الماء يتدفق الى ارتفاع اكبر بعشر مرات من الفرق بين مستويى السائلين.

فاذا اردنا زيادة ارتفاع الماء المتدفق الى عدة اضعاف ما هو عليه ، فما علينا الا الاستعاضة عن الماء الموجود فى القنينتين السفليتين للجهاز المذكور ، بالزئبق ، والاستعاضة عن الهواء بالماء (شكل ٦٠) . ويتم عمل الجهاز فى هذه الحالة كما يلى : عندما يسيل الزئبق من القنينة حـ الى القنينة ب ، يطرد الماء من داخلها ، ويجعله يتدفق من النافورة . واذا علمنا بان الزئبق اثقل من الماء بـ ١٣ر٥ مرة ، استطعنا بسهولة حساب الارتفاع الذى يجب ان يصل اليه الماء المندفع من النافورة . لنرمز الى الفروق بين المستويات بالحروف ع$_{١}$ وع$_{٢}$ وع$_{٣}$، المطابقة لكل مستوى على التوالى . والان نأتى الى بحث القوى التى تجعل الزئبق يسيل من القنينة حـ الى القنينة ب (شكل ٦٠) . ان الزئبق الموجود فى انبوب الاتصال يتعرض الى الضغط من جهتين : من الجهة اليمنى الى الضغط الناتج عن الفرق بين ارتفاعى عمودى الزئبق ع$_{٢}$ (الذى يكون معادلا لضغط عمود من الماء اطول من ذلك بـ ١٣ر٥ مرة ، اى انه يبلغ ١٣ر٥ ع$_{٢}$) ، مضافا الى ذلك

ضغط عمود الماء ع ١ . اما من الجهة اليسرى فيتعرض الى ضغط عمود الماء ع ٣. وفى النتيجة تؤثر على الزئبق قوة تساوى :

١٣,٥ ع ٢ + ع ١ − ع ٣ .

ولكن ع ٣ − ع ١ = ع ٢ ؛ اذن نعوض عن ع ١ − ع ٣ بالمقدار ع ٢ مسبوقا باشارة سالبة ، فنحصل على ما يلى :

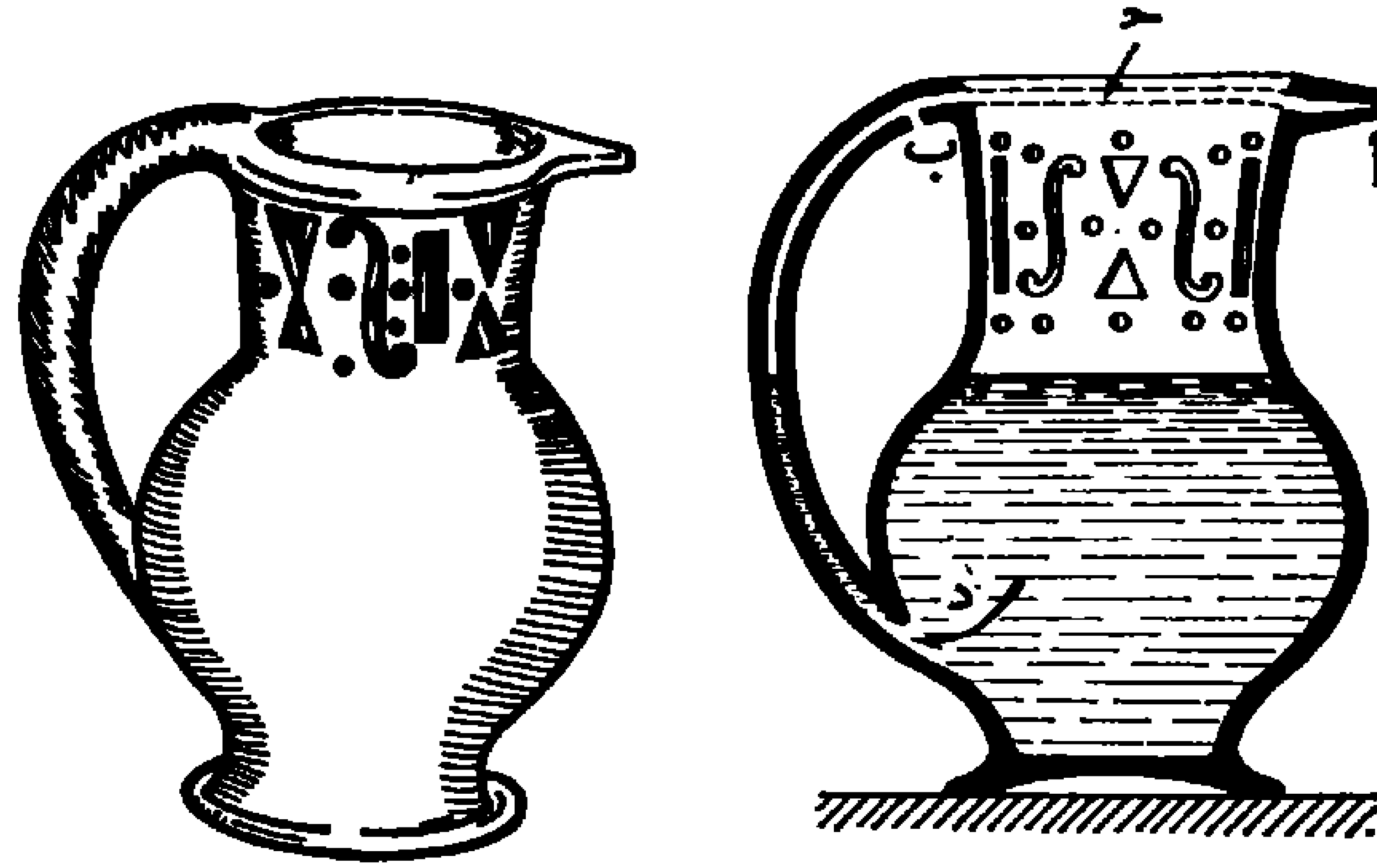
١٣,٥ ع ٢ − ع ٢ ،

اى ١٢,٥ ع ٢. وهكذا ، فان الزئبق يدخل الى القنينة ب تحت ضغط عمود من الماء يبلغ ارتفاعه ١٢,٥ ع ٢. ولذلك فمن الناحية النظرية ، يجب ان يتدفق الماء من النافورة الى ارتفاع يساوى الفرق بين مستويى الزئبق الموجود فى القنينتين ، مضروبا فى العدد ١٢,٥ . ولكن الاحتكاك يعمل على تقليل هذا الارتفاع النظرى .

ومع هذا ، فان الجهاز المذكور يساعد على تدفق الماء بسهولة الى ارتفاع كبير. ولكى نجعل الماء يتدفق ، مثلا ، الى ارتفاع ١٠ م ، يكفى ان نرفع احدى القنينتين فوق الاخرى بمقدار متر واحد تقريبا . ومن الطريف ، كما يتضح من الحساب السابق ، ان رفع الوعاء أ فوق القنينتين ، الى ارتفاع اكبر مما هو عليه ، لا يؤثر مطلقا على ارتفاع تدفق الماء .

الاوعية الخادعة

كان النبلاء الروس فى القرنين السابع عشر والثامن عشر يسلون انفسهم باللعبة التالية ، التى كانوا يستخدمون فيها كوزا او كوبا يصنع خصيصا بحيث يحتوى فى قسمه العلوى على فتحات زخرفية كبيرة (شكل ٦١) . تبدأ اللعبة بملء الكوز بالخمر ، وتقديمه الى احد الضيوف من الطبقة المتوسطة ، الذين يمكن السخر منهم بلا حساب . كيف يمكن شرب الخمر من هذا الكوز ؟ ان الشخص لا يستطيع امالة الكوز ، لان الخمر ستنسكب من الثقوب المتعددة فى الحال ، ولا تصل الى الفم حتى قطرة واحدة .



شكل ٦١ : الكوز الخادع المبتكر فى نهاية القرن الثامن عشر ، وسر تركيبه .

ولكن ، اذا ادرك الشخص سرّ هذا الكوز ، المبين فى الشكل ٦١ الى اليمين ، عمد فى الحال الى سد الفتحة ب بأصبعه ، ووضع فوهة البزبوز فى فمه ، ومص الخمر من الكوز دون امالته . وفى هذه الحالة ، سترتفع الخمر من خلال الفتحة د ، وتمر بالقناة المحفورة فى داخل المقبض ، ثم تمر بتكملة القناة حـ ، المحفورة فى داخل الحافة العليا للكوز ، حتى تصل الى فوهة البزبوز .

ومثل هذه الاكواز ما زالت تصنع فى الاتحاد السوفييتى حتى الوقت الحاضر ، حيث يقوم بصنعها الخزافون . وقد رأيت فى احد البيوت ذات مرة احد هذه الاكواز ، وكان سر تركيبه مخفيا بمهارة تامة ، وقد كتبت عليه العبارة التالية : « اشرب ولا تبلل نفسك » .

ما هو وزن الماء فى القدح المقلوب ؟

ان الماء فى القدح المقلوب لا يزن اى شئ بالطبع ، لان الماء سينسكب من ذلك القدح فى الحال – هذا ما سيجيب به القارئ على السؤال المذكور اعلاه .

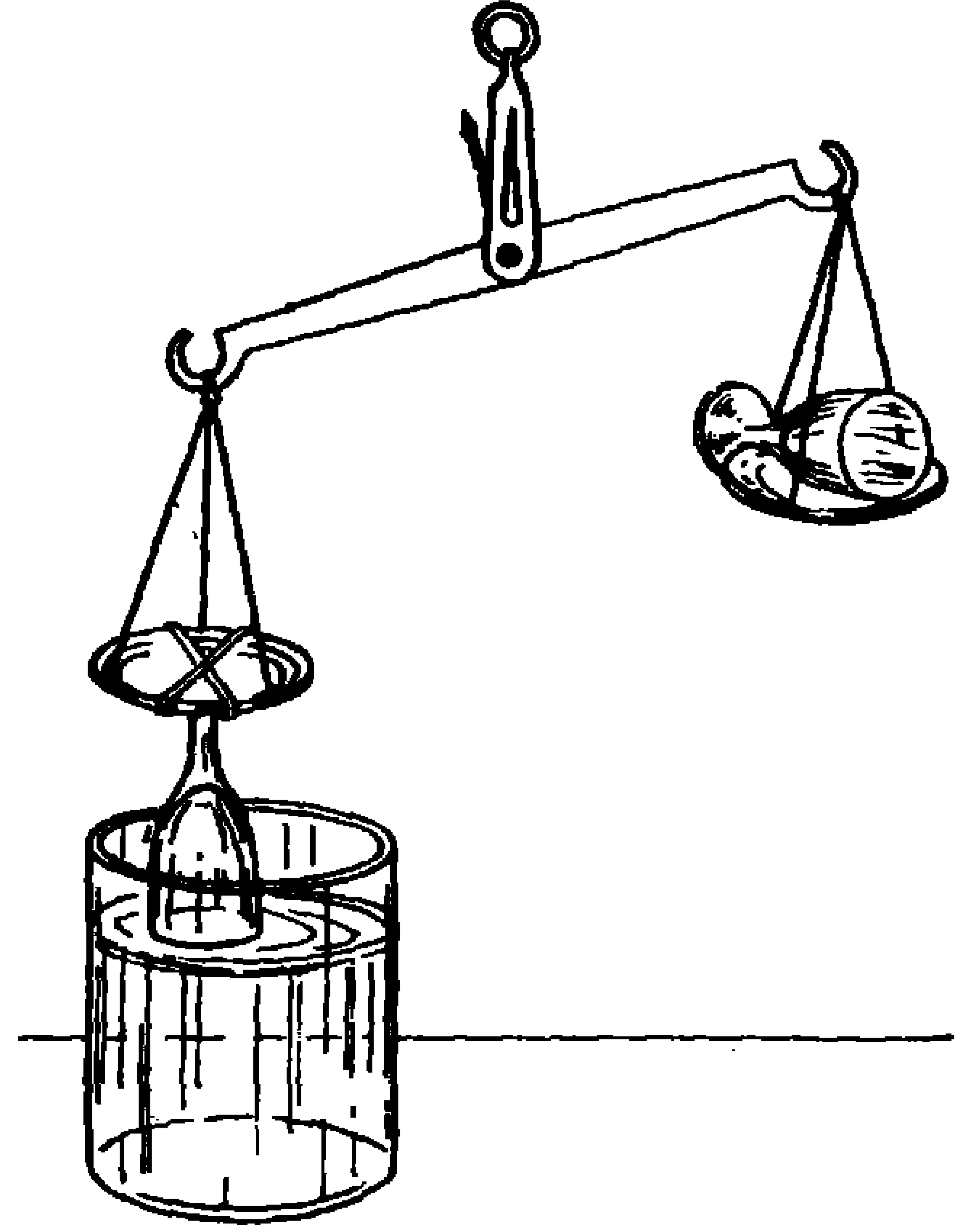
واذا فرضنا ان الماء لن ينسكب ، فماذا سينتج عن ذلك ؟

فى الواقع ، يمكن ابقاء الماء فى القدح المقلوب ، بحيث لا يمكنه الانسكاب منه . وهذه الحالة مبينة فى الشكل ٦٢ ، الذى يمثل قدحا زجاجيا مقلوبا ، وقد ربط

من قاعدته الى احدى كفتي الميزان . والقدح المذكور مملوء بالماء الذى لا ينسكب ، وذلك لان فوهة القدح مغطسة فى وعاء من الماء . اما فى الكفة الاخرى للميزان ، فقد وضع قدح فارغ يشبه القدح الاول تماما .

والآن أى الكفتين سترجح ؟

ان الكفة التى سترجح ، هى تلك التى ربط اليها القدح المقلوب ، المملوء بالماء . ان هذا القدح المقلوب يتعرض من الاعلى الى ضغط جوى كامل ، ويتعرض من الأسفل الى ضغط يقل عن الضغط الجوى ، بما يعادل وزن الماء الموجود فى داخل القدح المذكور . ولكى تتوازن كفتا الميزان ، لا بد فى هذه الحالة من ملء القدح الموضوع فى الكفة الثانية ، بالماء .



شكل ٦٢ : عملية وزن الماء الموضوع فى كأس مقلوبة .

وعند تطبيق الشروط المذكورة أعلاه ، نستنتج ان وزن الماء الموجود فى القدح المقلوب ، يساوى وزن الماء الموجود فى القدح الموضوع بصورة طبيعية .

لماذا تتجاذب السفن مع بعضها ؟

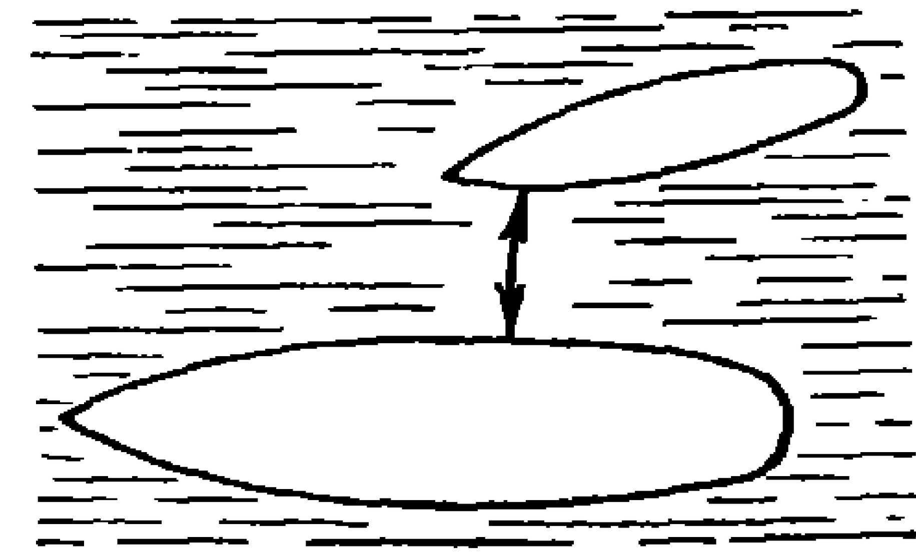
فى خريف عام ١٩١٢ وقعت الحادثة التالية للباخرة « اوليمبيك » التى كانت تعتبر من أضخم البواخر فى العالم . كانت هذه الباخرة ذات مرة تمخر عباب المحيط ، واذا بالطرادة « هاوك » ، وهى اصغر من الباخرة بكثير ، تقترب منها بسرعة كبيرة ، وتسير بصورة موازية لها تقريبا على مسافة عدة مئات من الامتار . وعندما اصبحت الباخرتان فى الوضعية المبينة فى الشكل ٦٣ ، حدث شيء لم يكن متوقعا . اذ انحرفت الطرادة

بشدة عن خط سيرها ، وكانها وقعت تحت تأثير قوة خفية ، واستدارت بمقدمتها نحو لباخرة « أوليمبيك » واندفعت اليها بصورة مستقيمة تقريبا ، دون ان تنصاع لعجلة القيادة . وحدث الاصطدام بينهما ، وانحشرت مقدمة الطرادة « هاوك » فى هيكل الباخرة « أوليمبيك » . وقد كان الاصطدام من القوة ، بحيث أحدثت الطرادة « هاوك » ثغرة كبيرة فى هيكل الباخرة « أوليمبيك » .

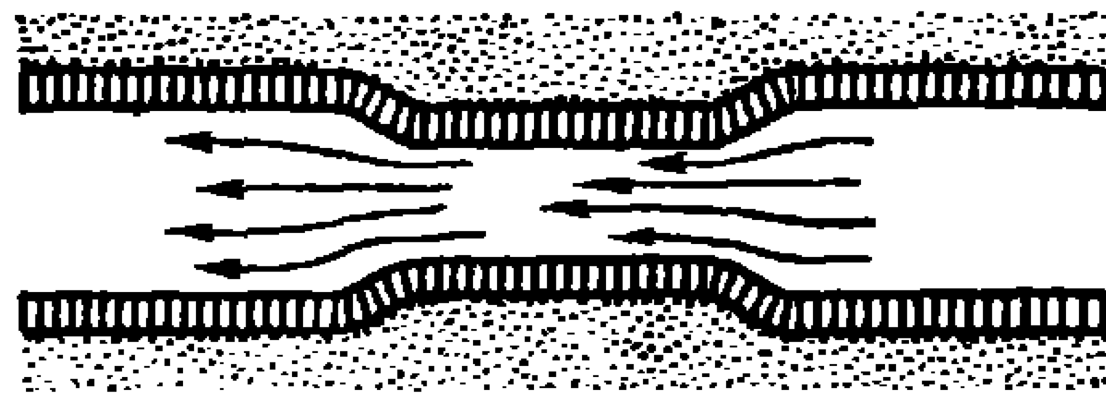
ولما جرى التحقيق فى هذه الحادثة الغريبة ، اتهم المحققون قبطان الباخرة « اوليمبيك » بالتسبب فى وقوع الاصطدام ، لانه — على حد قولهم — لم يتخذ أية اجراءات لافساح المجال أمام الطرادة « هاوك » المندفعة فى اتجاه متقاطع مع خط سير الباخرة « أوليمبيك » .

ولم ير المحققون بالتالى ، أية غرابة فى هذه الحادثة ، واعتبروا انها وقعت نتيجة لسوء ادارة القبطان لا غير . ولكن السبب الحقيقى لهذا الاصطدام كان عبارة عن حالة لا يمكن التنبؤ بوقوعها مطلقا ، وهى حالة التجاذب المتبادل بين السفن فى عرض البحر .

وربما تكون مثل هذه الحالات قد وقعت كثيرا فى السابق ، عند سير باخرتين من البواخر ، بصورة متوازية . ولما لم تكن هناك بواخر كبيرة جدا قبل ذلك الوقت ، فان هذه الظاهرة لم تحدث من قبل بمثل هذه القوة . ولكن عندما اخذت « المدن العائمة »



شكل ٦٣ : وضعية الباخرتين « اوليمبك » و « هاوك » قبل وقوع الاصطدام .



شكل ٦٤ : ان سرعة جريان الماء فى الاقسام الضيقة من القناة اكبر من سرعة جريانه فى اقسامها الواسعة ، اما ضغطه على جدرانها فيكون فى الاقسام الضيقة اقل مما هو عليه فى اقسامها الواسعة .

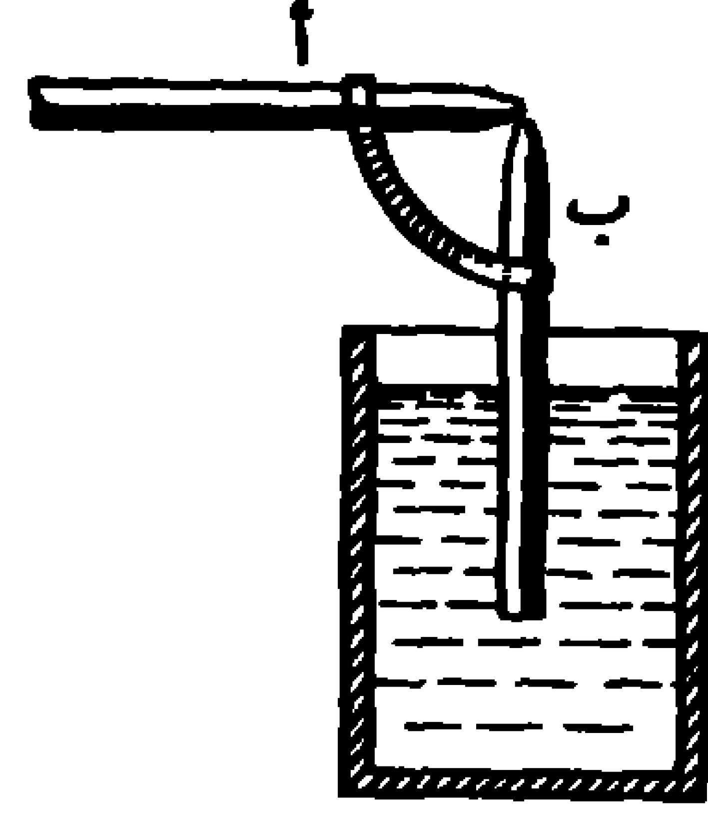
..

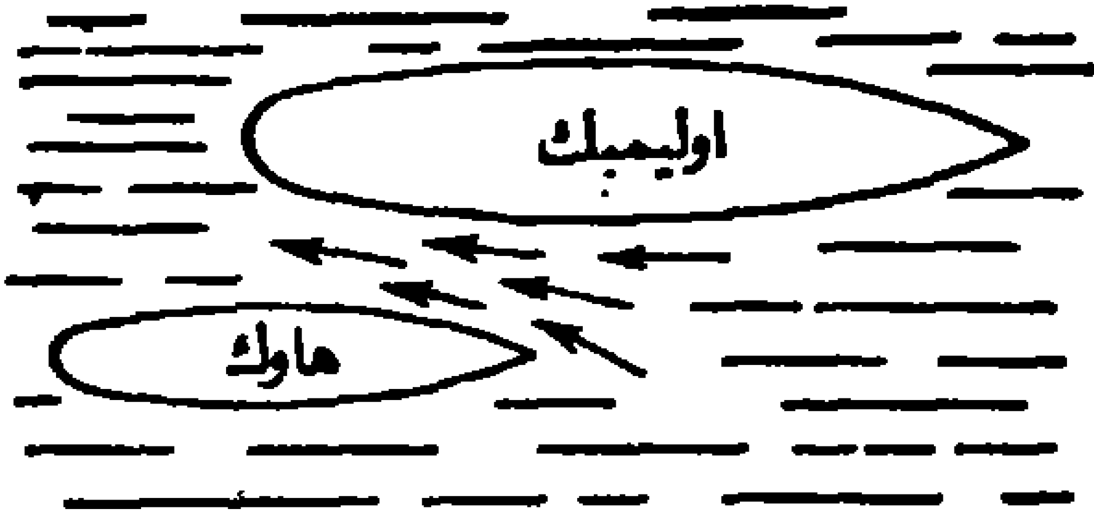
تجوب المحيطات ، برزت ظاهرة تجاذب السفن بشكل ملموس جدا ، الامر الذى جعل قادة السفن الحربية يحسبون حسابها اثناء المناورات .

وربما تعرضت السفن الصغيرة ، التى تبحر الى جانب البواخر الكبيرة لنقل الركاب ، والبارجات الحربية ، الى عدد كبير من حوادث الاصطدام ، لنفس السبب السابق .

ما هو تفسير هذا التجاذب ؟ بطبيعة الحال ، لا محل هنا للحديث عن قانون الجذب العام لنيوتن، لاننا علمنا مما سبق (فى الفصل الرابع) ، ان هذا الجذب ضئيل جدا . ان سبب هذه الظاهرة يختلف عن ذلك تماما ، ويفسر بقوانين انسياب السوائل فى المواسير والقنوات . ويمكن ان نثبت بان الماء الذى ينساب فى قناة تحتوى على أقسام ضيقة وأخرى واسعة ، يزيد من سرعة انسيابه فى الاقسام الضيقة ويقلل من ضغطه على جدران القناة ؛ اما فى الاقسام الواسعة ، فينساب بهدوء ، ويضغط بقوة أكبر على جدران القناة (هذا ما ينص عليه قانون برنولى) .

وينطبق هذا القانون على الغازات ايضا . وفى الدراسات الخاصة بالغازات ، يطلق على هذه الظاهرة اسم ظاهرة كليمان — ديزورم (وهو مشتق من اسمى العالمين الفيزيائيين ، مكتشفى الظاهرة المذكورة) ، كما يطلق عليها اسم « التناقض الايروستاتيكى » . وقد تم اكتشاف هذه الظاهرة لاول مرة ، كما يقال ، بطريق الصدفة فى الحادثة التالية : طلب من احد العمال فى منجم فرنسى ان يأخذ لوحا خشبيا ويسد به فتحة المهواة الخارجية ، التى يدخل من خلالها الهواء المضغوط الى المنجم . وقد حاول العامل طويلا التغلب على تيار الهواء المتدفق الى المنجم . وصدفة انطبق اللوح ذاتيا على الفتحة ، انطباقا عنيفا ، وكاد — لولا كبر حجمه — ان يجر معه العامل المذعور الى داخل فتحة المهواة . وبالمناسبة ، فان خاصية سريان الغاز هذه ، تفسر لنا عمل المرذاذ . عندما ننفخ فى الانبوب أ (شكل ٦٥) ، ذى الطرف الضيق ، فان ضغط الهواء يقل بمروره فى القسم الضيق . وهكذا يصبح ضغط الهواء الموجود فوق الانبوب ب أقل من الضغط الجوى الذى يقوم بدفع الماء الموجود فى القدح الى الاعلى خلال الانبوب ب ، وعند وصوله الى الفتحة العليا ، يصطدم بتيار الهواء المنفوخ ، ويتحول الى رذاذ .





شكل ٦٥ : مبدأ عمل المرذاذ .   شكل ٦٦ : مجرى الماء بين الباخرتين العائمتين.

وسوف نفهم الان ما هو سر تجاذب السفن . عندما تعوم سفينتان بصورة متوازية ، يتكون بين جانبيهما المتقابلين شكل يشبه قناة الماء ، مع فارق واحد هو ان جدران القناة العادية تكون ثابتة ويكون الماء متحركا ، اما في هذه الحالة فالعكس هو الصحيح ، حيث تكون الجدران متحركة ويكون الماء ثابتا . ولكن تأثير القوى لا يتغير من جراء ذلك مطلقا : ففي الاقسام الضيقة للقناة المتحركة يكون ضغط الماء على الجدران أقل مما هو عليه في الاقسام الاخرى المحيطة بالسفينتين . وبعبارة اخرى ، فان جانبي السفينتين المتقابلين ، يتعرضان لضغط الماء بمقدار اقل مما يتعرض له الجانبان الخارجيان للسفينتين . ما الذي يجب حدوثه نتيجة لذلك ؟ ان ضغط الماء على الجانبين الخارجيين يجعل السفينتين تقتربان من بعضهما حتما ، وبطبيعة الحال يكون اقتراب السفينة الصغيرة أسرع ، في الوقت الذي تكون فيه السفينة الكبيرة ثابتة تقريبا . وهذا يفسر لنا لماذا يكون التجاذب قويا ، وخاصة عندما تمر سفينة كبيرة بسرعة ، بالقرب من سفينة صغيرة .

وهكذا نرى ان سبب التجاذب بين السفن يعود الى تأثير المص الناتج عن الماء الجاري . ونفس السبب السابق ، يفسر لنا الخطر الذي ينجم عن مجاري المياه السريعة وعن تأثير المص الناتج عن دوامات الماء ، بالنسبة للناس الذين يسبحون في تلك المياه . وقد اثبت الحساب ان تيار الماء الجاري بسرعة معتدلة قدرها ١ م/ثا يجر معه جسم الانسان بقوة تساوي ٣٠ كجم ! وليس من السهل ان يثبت الانسان في مكانه عند تعرضه لمثل هذه القوة ، وخاصة في الماء ، حيث لا يمكن لوزن الجسم الذاتي ان يساعد

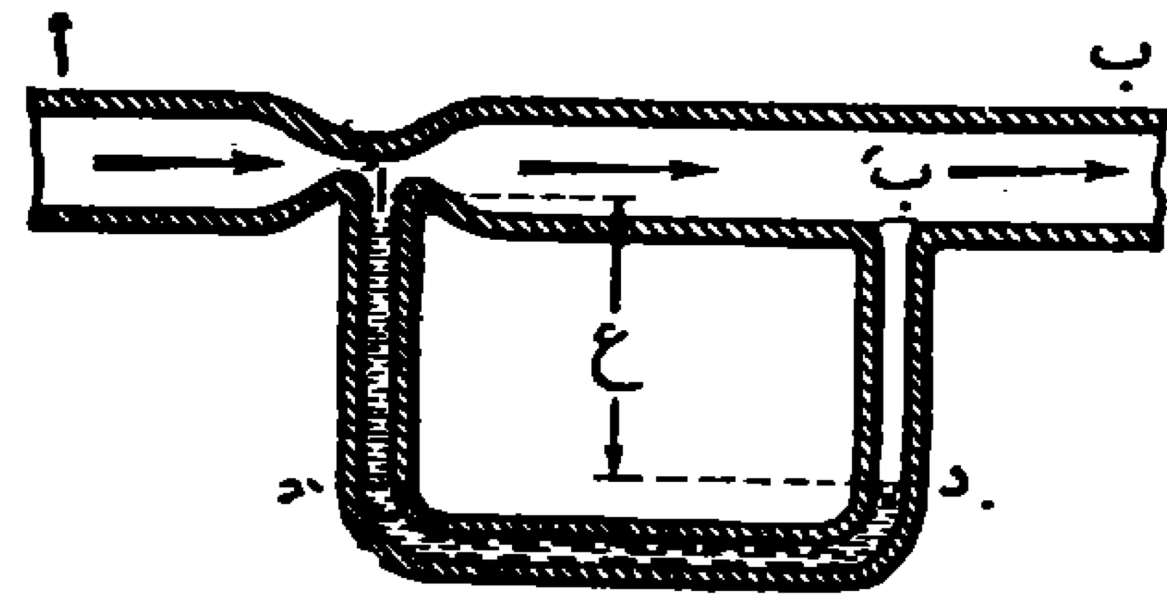
الانسان على الاحتفاظ بتوازنه . واخيرا ، فان تأثير المص ، الناتج عن القطار السريع الحركة ، يفسّر كذلك بقانون برنولى المذكور . ان القطار المتحرك بسرعة ٥٠ كم/ساعة ، يجذب اليه الشخص الواقف بقربه ، بقوة تقدر بحوالى ٨ كجم .

ان الظواهر المتعلقة بقانون برنولى – بالرغم من ان حدوثها ليس نادرا – لا يعرفها من الناس العاديين الا عدد قليل فقط . ولذا ، فمن المفيد ان نشرح للقراء هذا القانون بشئ من التفصيل . وسنقدم فيما بعد مقتطفا من مقالة مبسطة تتعلق بهذا الموضوع ، كتبها البروفيسور فرانكلين ، وخص بها احدى المجلات العلمية العامة .

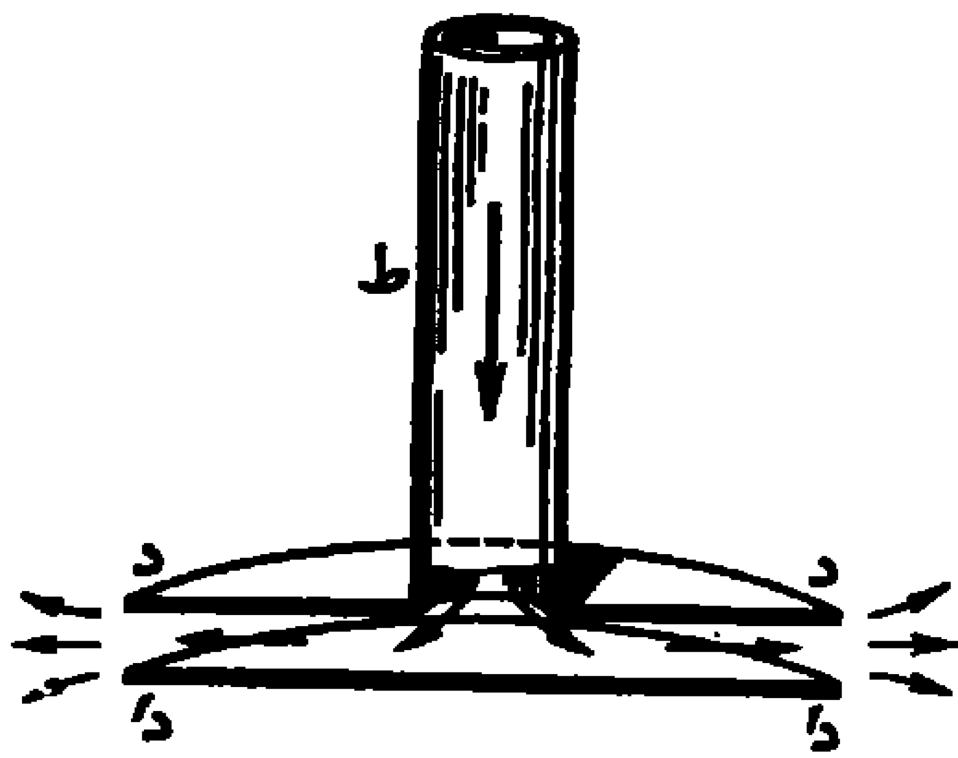
قانون برنولى ونتائجه

لقد وضعت صيغة القانون لاول مرة عام ١٧٢٦ ، من قبل العالم دانييل برنولى . وينص القانون المذكور على ما يلى : يكون ضغط تيار الماء او الهواء كبيرا اذا كانت سرعته ضئيلة ، ويقل الضغط اذا زادت السرعة . وتوجد بعض التحديدات المعروفة لهذا القانون ، ولكننا سوف لا نتوقف عندها الآن .

والشكل ٦٧ يوضح لنا ماهية هذا القانون . ينفخ الهواء فى الانبوب أ ب ، وعند وصوله الى المقطع الضيق آ تزداد سرعته ، وعند وصوله الى المقطع العريض بَ تقل سرعته . وفى الاقسام التى تكون فيها السرعة كبيرة ، يصبح الضغط قليلا ، والعكس بالعكس .



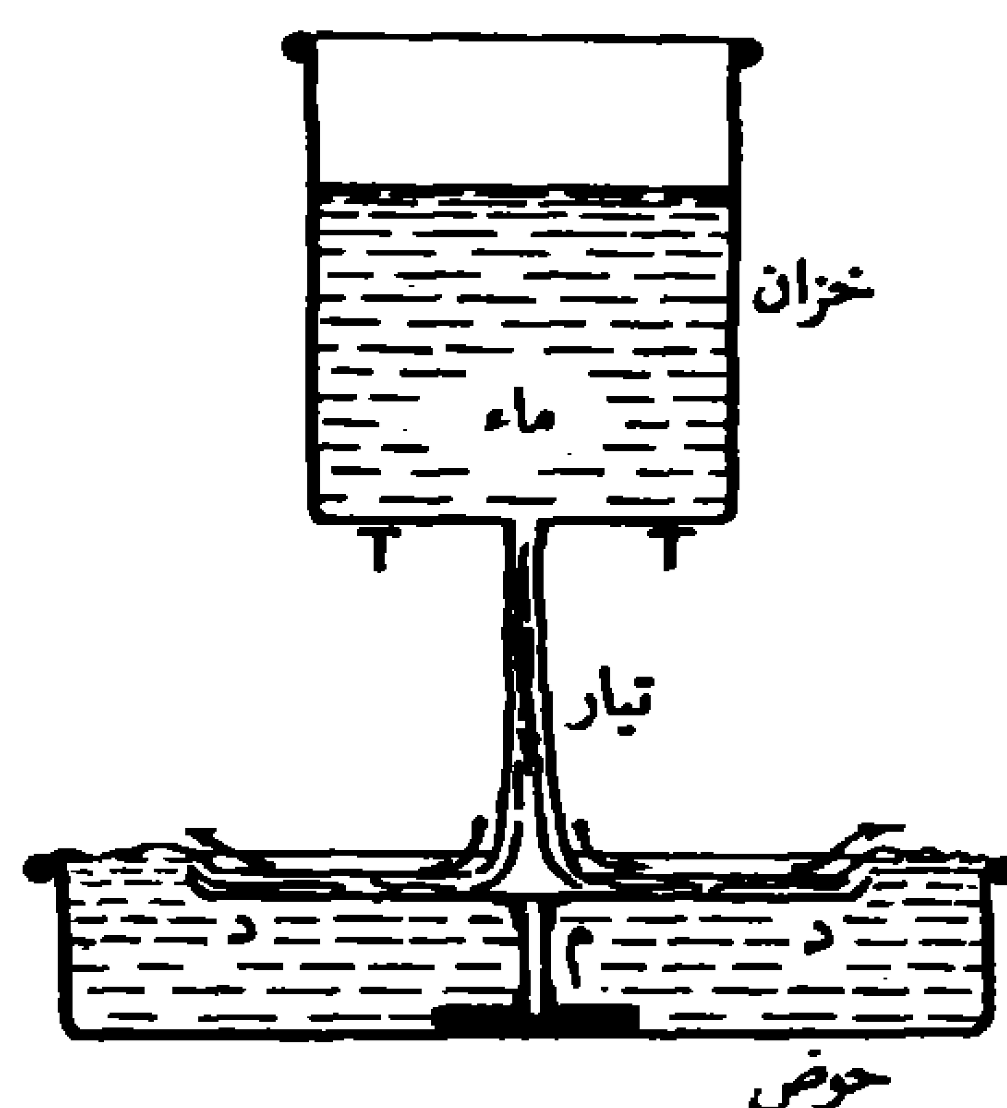
شكل ٦٧ : مخطط لايضاح قانون برنولى . ان الضغط فى القسم الضيق آ من الانبوبة أب ، اقل مما هو عليه فى القسم الواسع ب .



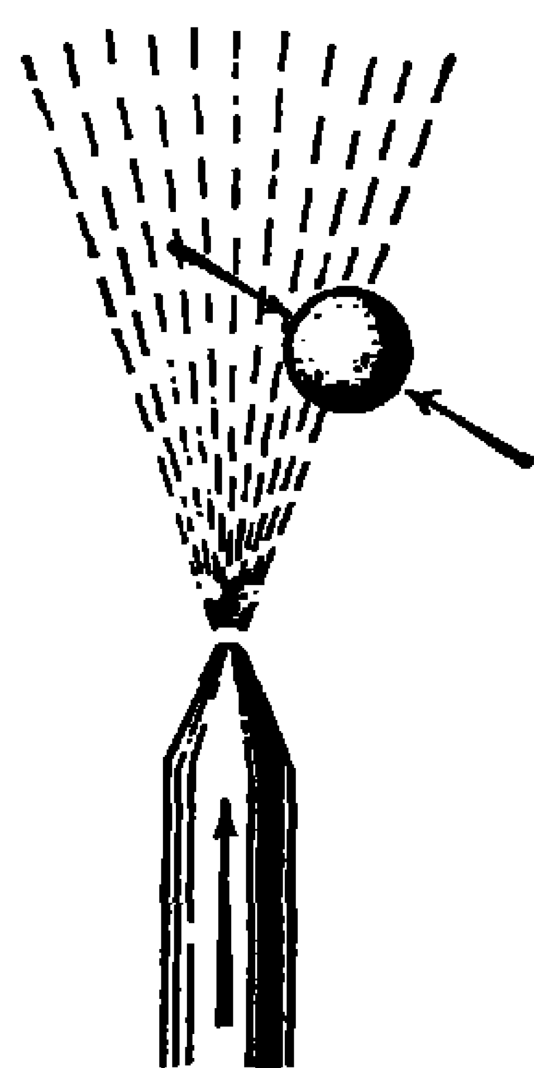
شكل ٦٨ : اجراء التجربة باستخدام الاقراص .

ونظرا لقلة ضغط الهواء في المقطع آ ، يرتفع السائل في الانبوب حـ ، وفي نفس الوقت ينخفض السائل الموجود في الانبوب د ، نتيجة لتأثير الضغط القوى في المقطع بَ.

ويبيّن الشكل ٦٨ الانبوب ط ، وقد ثّبت على القرص النحاسي د د ؛ ينفخ الهواء في الانبوب ط ، ويصل فيما بعد الى القرص غير المثّبت دَ دَ * . وهنا تكون للهواء الموجود بين القرصين ، سرعة كبيرة . ولكنها سرعان ما تقل ، كلما اقترب الهواء من حافات القرصين ، ذلك لان المقطع العرضي للتيار الهوائي يكبر بسرعة ، كما يتم التغلب على القصور الذاتي للهواء الموجود بين القرصين . ولكن ضغط الهواء المحيط بالقرص ، يكون كبيرا ، لان سرعته قليلة ، اما ضغط الهواء الموجود بين القرصين فيكون صغيرا ، لان سرعته كبيرة . ولهذا السبب ، فان الهواء المحيط بالقرص ، يؤثر على القرصين محاولا لصقهما ، اكثر مما يؤثر عليهما الهواء الموجود بينهما ، محاولا فصلهما . وفي النتيجة ، يكون انجذاب القرص دَ دَ الى القرص د د اكثر قوة كلما زادت قوة تيار الهواء المنفوخ في الانبوب ط .



شكل ٦٩ : يرتفع القرص د د على القضيب م، عندما يسقط عليه تيار الماء المنسكب من الخزان .



شكل ٧٠ : ان تيار الهواء يمنع الكرة الصغيرة من السقوط .

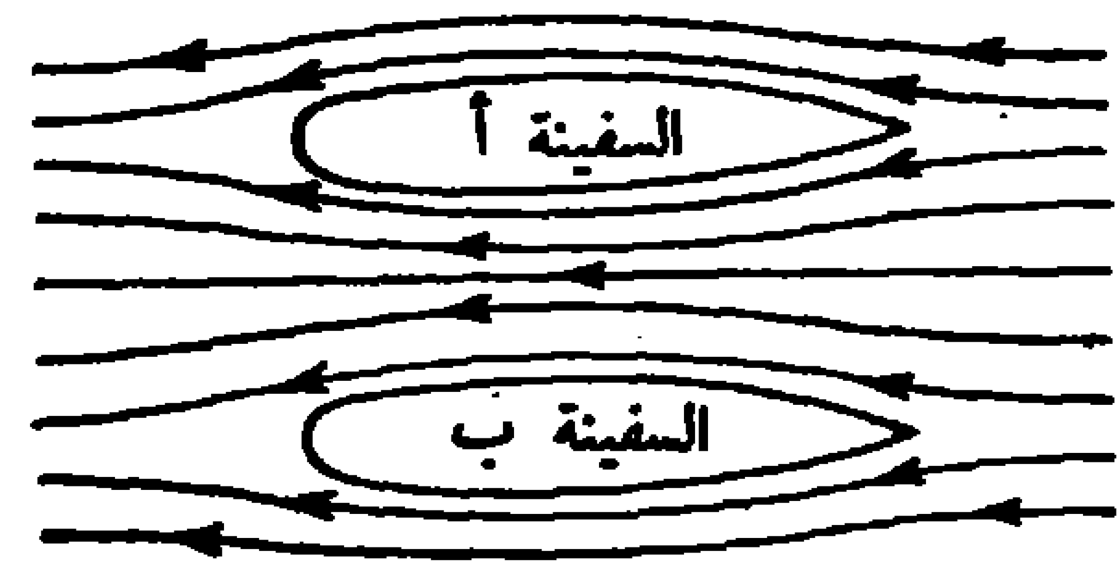
---

* يمكن اجراء نفس التجربة بطريقة أبسط ، وذلك باستخدام بكرة وقرص ورقي ، يثبت في مكانه بواسطة دبوس يتم ادخاله في تجويف البكرة .

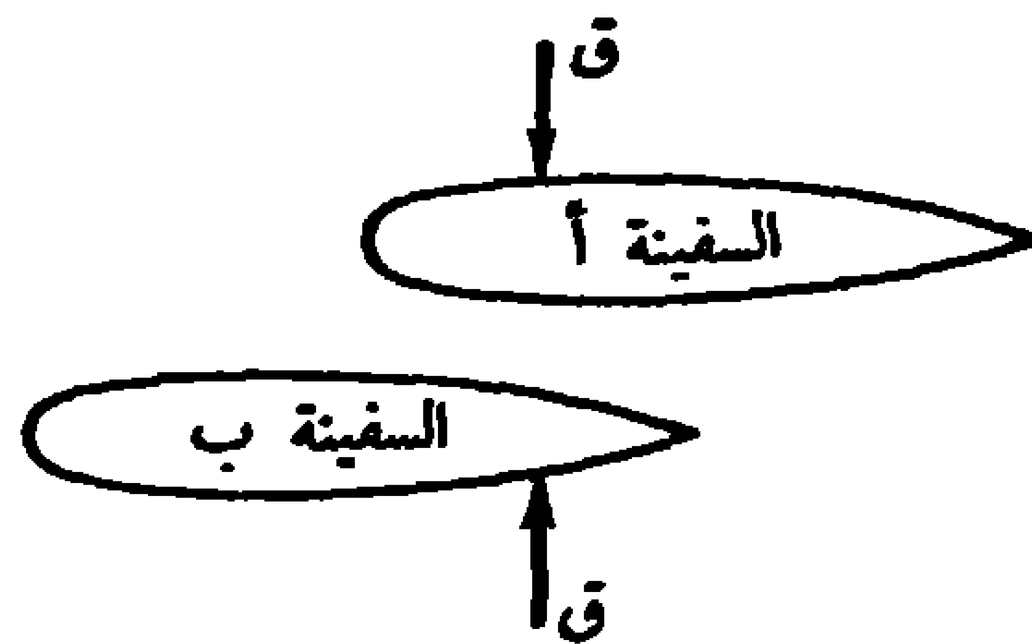
والشكل ٦٩ يطابق الشكل ٦٨ من الناحية العملية ، ولكن مع استخدام الماء بدل الهواء . ان الماء المتحرك بسرعة على القرص د د ، يقع في مستوى منخفض ، ويرتفع تلقائيا الى مستوى أعلى منه ، وهو مستوى الماء الراكد في الحوض ، عندما تطوى حافات القرص الى الاعلى . ولهذا ، فان ضغط الماء الراكد ، الموجود تحت القرص ، يصبح أكبر من ضغط الماء المتحرك فوق القرص ، الامر الذى يودى الى ارتفاع القرص . ان القضيب م يمنع الازاحة الجانبية للقرص .

والشكل ٧٠ يبين لنا كرية خفيفة ، تسبح فى تيار من الهواء الصاعد ، حيث يصدم التيار الهوائى الكرية المذكورة ويمنعها من السقوط . وعندما تقفز الكرية مبتعدة عن ذلك التيار ، فان الهواء المحيط يعيدها ثانية الى التيار ، لان ضغط الهواء المحيط ، ذى السرعة البطيئة ، يكون كبيرا ، اما ضغط تيار الهواء ، ذى السرعة الكبيرة ، فيكون صغيرا .

والشكل ٧١ يمثل سفينتين متحركتين جنبا الى جنب فى بحر هادئ ، او سفينتين واقفتين بالقرب من بعضهما وسط مياه جارية ، وهو الوضع المؤدى الى نفس النتيجة التى يؤدى اليها الوضع الاول . ان سرعة الماء الجارى المحصور بين السفينتين تكون اكبر من سرعة الماء المحيط بهما من الخارج ، ولذا فان ضغط الماء المحصور بين السفينتين يصبح أقل من ضغط الماء المحيط بهما . وهكذا يؤدى الضغط الكبير للماء المحيط



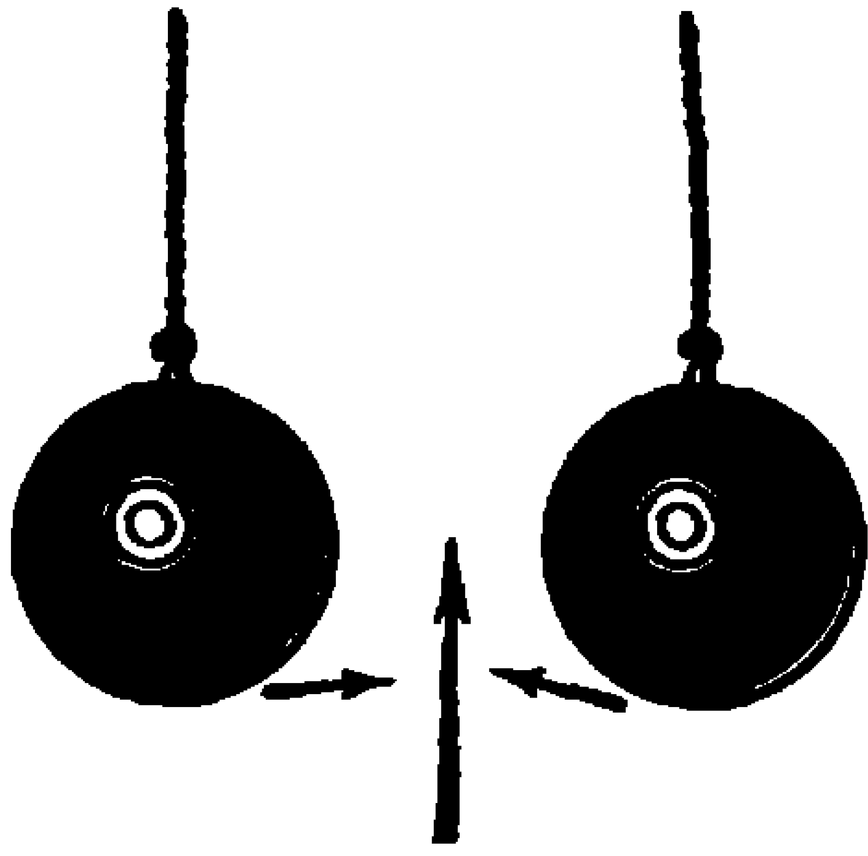
شكل ٧١ : ان السفينتين المتحركتين على خطين متوازيين ، تجذبان بعضهما البعض .



شكل ٧٢ : عند حركة السفينتين الى الامام ، تدير السفينة ب مقدمتها نحو السفينة أ .

بالسفينتين الى تقاربهما . ويعرف البحارة جيدا ان السفينتين السائرتين جنبا الى جنب ، تتجاذبان فيما بينهما بقوة .

وتصبح الحالة اشد خطرا عندما تكون احدى السفينتين قد تقدمت السفينة الثانية قليلا ، كما فى الشكل ٧٢ . ان القوتين ق و ق ، اللتين تقربان السفينتين من بعضهما ، تحاولان ادارتهما ، وهنا تستدير السفينة ب ، نحو السفينة أ ، بقوة كبيرة . وفى هذه الحالة ، لا يكون هناك مناص من الاصطدام تقريبا ، حيث لا يجد مدير الدفة متسعا من الوقت لتغيير اتجاه حركة السفينة .



شكل ٧٣ : اذا امررنا تيارا من الهواء بين الكرتين الخفيفتين ، فانهما تقتربان من بعضها الى حد التلامس.

ويمكن عرض الظاهرة المبينة فى الشكل ٧١ ، بنفخ الهواء فى الحيّز الموجود بين كرتين مطاطيتين صغيرتين ، معلقتين كما هو مبين فى الشكل ٧٣ . وعندما نقوم بهذا العمل ، نرى ان الكرتين تقتربان من بعضهما الى حد الاصطدام .

الغرض من وجود الكيس الهوائى فى جسم السمكة

ما هو الغرض من وجود الكيس الهوائى فى جسم السمكة ؟ ان الاجابة على هذا السؤال ــ ويبدو انها تطابق الواقع ــ تكون عادة كما يلى : عندما تريد السمكة الانتقال من أعماق الماء الى سطحه ، فانها تملأ هذا الكيس بالهواء ، وبذلك يزداد حجم جسمها ، ويصبح وزن الماء المزاح أكبر من وزن السمكة ، وهكذا ترتفع السمكة الى سطح الماء ، بموجب قانون الاجسام الطافية . ولكى تتوقف عن الارتفاع ، او تهبط الى الأسفل ، فانها على العكس مما سبق ، تطرد الهواء من كيسها ، وبذلك يقل حجم جسمها ويقل معه وزن الماء المزاح ، فتهبط السمكة الى الاسفل ، تبعا لقانون ارخميدس .

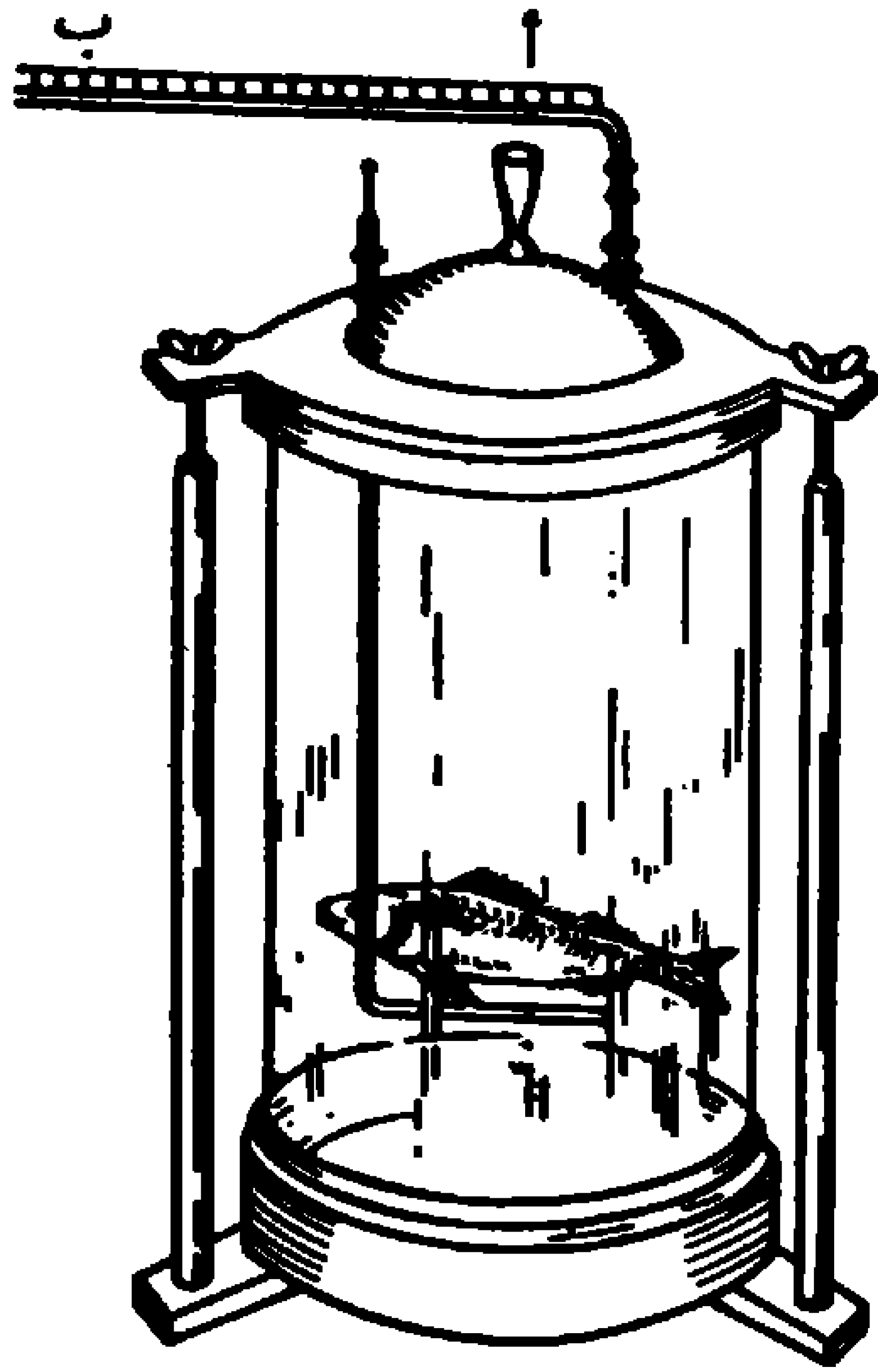
ان هذه الفكرة المبسطة عن الدور الذى يلعبه الكيس الهوائى للسمكة ، تعود الى عهد علماء اكاديمية فلورنتين (فى القرن السابع عشر) ، وكان أول من عرضها هو

البروفيسور بوريلي (عام ١٦٨٥) . وقد تقبل الناس هذه الفكرة وصدقوها طوال ٢٠٠ سنة ، حتى انها تغلغلت في بطون الكتب المدرسية ، ولم يكشف عن بطلانها التام الّا بجهود الباحثين الجدد .

ولا شك في ان للكيس الهوائي علاقة وثيقة بسباحة السمكة ، لان الاسماك التي تم استئصال كيسها الهوائي عند التجربة ، لم تستطع السباحة في الماء الا بتحريك زعانفها بشدة ، وعندما كانت تتوقف الزعانف ، عن الحركة ، كانت الاسماك تهبط الى القعر . ما هو اذن الدور الحقيقي الذي يلعبه الكيس الهوائي ؟ ان دوره محدود جدا ، وهو مساعدة السمكة في البقاء على عمق معين فقط — وهو بالذات ، العمق الذي يكون عنده وزن السمكة مساويا لوزن الماء الذي تزيحه . اما عندما تهبط السمكة بتحريك زعانفها ، الى أقل من ذلك المستوى (العمق) ، فان جسمها يتعرض للضغط الخارجي الكبير للماء ، فينضغط الجسم وينضغط معه الكيس الهوائي . وبذلك يصبح وزن الماء المزاح أقل من وزن السمكة ، الامر الذي يؤدي الى هبوط السمكة الى الاسفل . وكلما ازداد العمق الذي تهبط اليه السمكة ، كلما ازداد ضغط الماء المؤثر عليها (يزداد الضغط بمقدار ضغط جوي واحد ، كلما ازداد العمق بمقدار ١٠ م) ، وازداد انضغاط جسمها ، واستمر هبوطها الى الاسفل بسرعة أكبر .

ويحدث نفس الشيء ، ولكن بصورة معكوسة ، عندما ترفع السمكة نفسها — بتحريك الزعانف — من طبقة الماء ، التي كانت متوازنة فيها ، الى طبقة أعلى منها . والآن ، بعد زوال جزء من الضغط الخارجي المؤثر على الجسم المنفوخ من الداخل بواسطة الكيس الهوائي (الذي كان ضغط الهواء الموجود في داخله قبل هذه اللحظة ، متوازنا مع ضغط الماء المحيط) ، يزداد حجم الجسم ، ويرتفع الى الاعلى نتيجة لذلك . وكلما ازداد ارتفاع السمكة الى الاعلى ، كلما ازداد انتفاخ جسمها ، وبالتالي ازدادت سرعة ارتفاعها الى سطح الماء . وليس في استطاعة السمكة ان تحول دون زيادة سرعة ارتفاعها — بتقليص الكيس الهوائي — وذلك لان جدران الكيس خالية من الالياف العضلية ، التي كانت ستلعب دورا هاما في تقليص حجم الكيس . والتجربة التالية

(شكل٧٤) تثبت لنا حقيقة التمدد السلبى (الخامل) لجسم السمكة. أخذت سمكة نهرية ثم خدّرت بالكلوروفورم ووضعت فى داخل اناء مقفل مملوء بالماء، بعد ان تمت تقوية الضغط فى داخله، بحيث اصبح قريبا من الضغط الموجود على عمق معين فى بركة طبيعية للماء. فى هذه الحالة نجد ان السمكة تطفو على سطح الماء بخمول، وبطنها الى الاعلى. واذا غمرنا السمكة الى عمق قليل فى الماء، فسوف نرى انها ترتفع وتطفو على سطحه مرة ثانية. اما اذا وضعناها بالقرب من القعر، فسوف تهبط الى القعر. ولكن عند وضعها فى طبقة الماء الواقعة بين سطح الماء وقعر الاناء، فسوف نرى ان السمكة تبقى فى حالة توازن — لا تهبط الى القعر ولا تطفو على السطح. ونستطيع ادراك سبب ذلك، اذا تذكرنا ما قلناه الان عن التمدد والتقلص الخاملين للكيس الهوائى.



شكل ٧٤ : تجربة السمكة.

وهكذا، بالرغم من الفكرة الشائعة، نرى ان السمكة لا تستطيع نفخ وتقليص كيسها الهوائى بصورة ارادية. ان تغير حجم الكيس يحدث بصورة سلبية (خاملة)، تحت تأثير الضغط الخارجى المتزايد او المتناقص (طبقا لقانون بويل — ماريوت). وتغير الحجم هذا، لا يكون بالنسبة للسمكة غير مفيد فحسب، بل ويعمل على الحاق الضرر بها، لانه اما ان يؤدى الى ارتفاع السمكة الى سطح الماء بسرعة متزايدة لا يمكن التحكم فيها، او الى هبوطها الى القعر بنفس السرعة المتزايدة، التى لا يمكن التحكم فيها ايضا. وبعبارة اخرى، ان الكيس الهوائى يساعد السمكة على الاحتفاظ بتوازنها فى حالة السكون، ولكن هذا التوازن لا يكون مستقرا.

وهذا هو الدور الحقيقى الذى يقوم به الكيس الهوائى للسمكة — ما دام الحديث دائرا حول علاقة هذا الكيس بالسباحة. اما السؤال عما اذا كان الكيس الهوائى يقوم

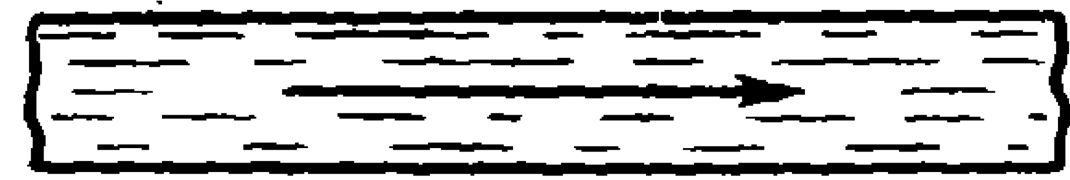
بوظائف اخرى في جسم السمكة ، وعن تلك الوظائف بالذات ، فهو سؤال لا يمكن ان نجيب عليه لان هذا الكيس ما زال يعتبر من الاعضاء المبهمة . ودوره الوحيد الذى يمكن اعتباره واضحا جدا لحد الآن ، هو الدور الايدروستاتيكى فقط .

وملاحظات صيادى الاسماك تؤكد هذه الحقيقة المذكورة . عند مزاولة الصيد فى المياه العميقة ، يصادف ان نرى بعض الاسماك ، تستطيع الافلات من الصنارة فى منتصف الطريق . ولكن بالرغم مما نتوقع حدوثه ، نجد ان السمكة لا تهبط ثانية الى العمق ، الذى اخرجت منه ، بل على العكس من ذلك ، تحاول الصعود الى سطح الماء . وفى هذه الحالة ، يلاحظ خروج الكيس الهوائى من أفواه بعض الاسماك المعينة .

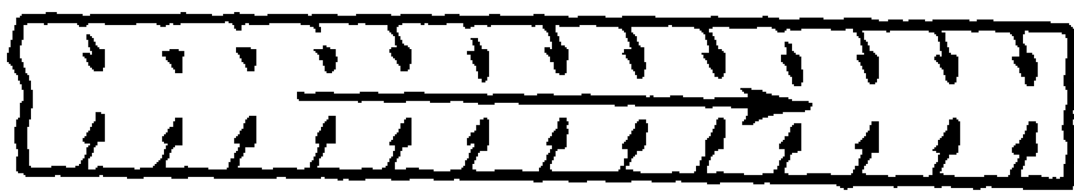
الامواج والعواصف

هناك كثير من الظواهر الفيزيائية اليومية، التى لا يمكن ان نجد لها تفسيرا على اساس القوانين الاولية لعلم الفيزياء . حتى ان احدى الظواهر التى يتكرر حدوثها فى اغلب الاحيان ، وهى ظاهرة هيجان البحر فى اليوم العاصف ، لا تجد لها تفسيرا تاما فى كتب الفيزياء المقررة لطلبة المدارس . والآن لنسأل ما هو سبب حدوث الامواج فى الماء الهادئ ، عند مرور احدى البواخر فى ذلك الماء ؟ ولماذا تخفق الاعلام عند هبوب الرياح ؟ ولماذا يتضفر الدخان عند خروجه من مدخنة المصنع ؟

لتفسير هذه الظواهر وغيرها من الظواهر المماثلة ، لا بد من معرفة خصائص ما يسمى بالحركة الدوامية للسوائل والغازات . ولنحاول هنا التحدث قليلا عن الحركة الدوامية ، ولنشر الى خصائصها الرئيسية . ذلك لان كتب الفيزياء المدرسية تكاد تخلو من الحديث عن هذا الموضوع .



شكل ٧٥ : الانسياب الطبقى الهادئ للسائل فى داخل الماسورة .



شكل ٧٦ : الانسياب الاضطرابى (الدوامى) السائل فى داخل الماسورة .

لنتصور وجود سائل يجرى في داخل ماسورة . فاذا كانت كل دقائق السائل تتحرك اثناء ذلك على خطوط متوازية في داخل الانبوبة ، نحصل على أبسط أنواع حركة السائل ــ الانسياب الهادئ* ، او كما يسميه الفيزيائيون بالانسياب الطبقي . ولكن هذه الظواهر ليست أغلب الظواهر حدوثا على الاطلاق . بل على العكس ، حيث يكون انسياب السوائل في داخل المواسير مضطربا في معظم الاحيان ، اذ تندفع الدوامات من جدران الماسورة نحو محورها . وهذه الحركة تسمى بالحركة الدوامية او المضطربة . وبهذه الصورة مثلا ، ينساب الماء في مواسير شبكة اسالة الماء (بغض النظر عن المواسير الرفيعة ، حيث يكون الانسياب هادئا او طبقيا) . ويلاحظ حدوث الانسياب الدوامي ، في جميع الاوقات التي تصل فيها سرعة تدفق السائل المعين في الماسورة (ذات القطر المعين) ، الى قيمة محددة تسمى بالسرعة الحرجة * .

ويمكن جعل دوامات السائل المنساب في داخل الماسورة ، واضحة للعين المجردة ، باضافة قليل من مسحوق خفيف ، مثل مسحوق الليكوبوديوم ، الى سائل شفاف ينساب في انبوبة زجاجية . عندئذ يمكن بالعين المجردة ، روٴية الدوامات المندفعة من جدران الانبوبة نحو محورها. وخاصية الانسياب الدوامي هذه ، تستخدم في صناعة الثلاجات ووحدات التجميد (المجمدات) . ان السائل الذى ينساب انسيابا دواميا في ماسورة ذات جدران مبردة ، يجعل كافه دقائقه تلتصق بالجدران الباردة ، اسرع بكثير مما لو كان ينساب بصورة هادئة . ويجب ان نتذكر ان السوائل بالذات ، تعتبر موصلات رديئة للحرارة ، وعند عدم تحريكها (خلطها) فانها تبرد او تسخن ببطء شديد . ان قابلية الدم لتبادل الحرارة والمواد مع الانسجة المحيطة به ، تبادلا حيويا ، تعود الى سبب واحد فقط ، هو ان الدم يتدفق في الاوعية الدموية ، تدفقا دواميا وليس تدفقا طبقيا (هادئا) .

ان كل ما قيل عن انسياب السوائل في المواسير ، ينطبق تماما على انسياب الماء في القنوات المفتوحة وفي جداول المياه ايضا ، لان الماء ينساب فيها انسيابا دواميا .

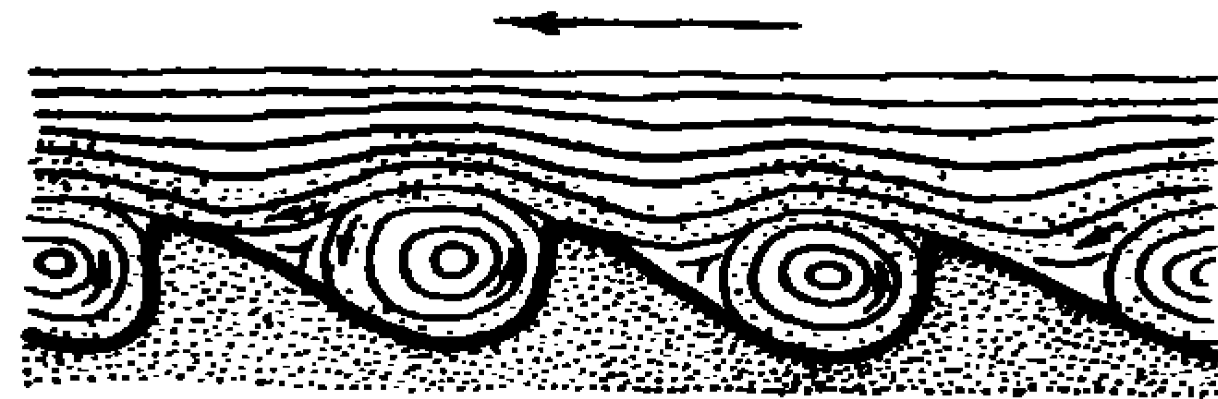
---

* ان السرعة الحرجة لسائل ما ، تتناسب تناسبا طرديا مع لزوجته ، وعكسيا مع كثافته ومع قطر الماسورة ، التي ينساب في داخلها .

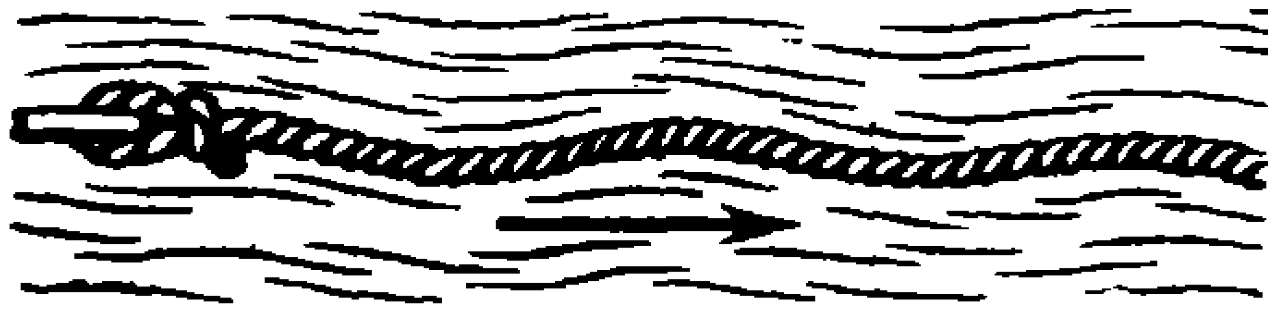
وعند القياس الدقيق لسرعة جريان النهر ، تسجل آلة القياس نبضا ، وعلى الاخص بالقرب من قاع النهر . وهذا النبض ، يدل على اتجاه مجرى الماء بصورة مستمرة ، اى يدل على وجود الدوامات . ان دقائق الماء الجارى فى النهر ، لا تتحرك فى اتجاه المجرى فقط ، كما يبدو عادة ، ولكنها تتحرك من الشاطئين الى الوسط ايضا . ولذلك ، فان الرأى القائل بان درجة حرارة الماء الموجود فى اعماق النهر ، تكون ثابتة على مدار السنة ، وتساوى ٤° مئوية بالضبط ، هو رأى خاطئ ، لانه بنتيجة الاختلاط ، تكون درجة حرارة الماء الجارى بالقرب من قاع النهر (لا البحيرة) ، مساوية لدرجة حرارة الماء عند السطح .

ان الدوامات المتكونة عند قاع النهر ، تحمل معها الرمل الخفيف ، وتحدث «تموّجات» فى الرمل الموجود على القاع . ويحدث نفس الشئ على الساحل الرملى للبحر ، عند تعرّضه للمد والجزر (شكل ٧٧) . ولو كان الماء يجرى بهدوء بالقرب من قاع النهر ، لكان سطح الرمل الموجود على القاع مستويا .

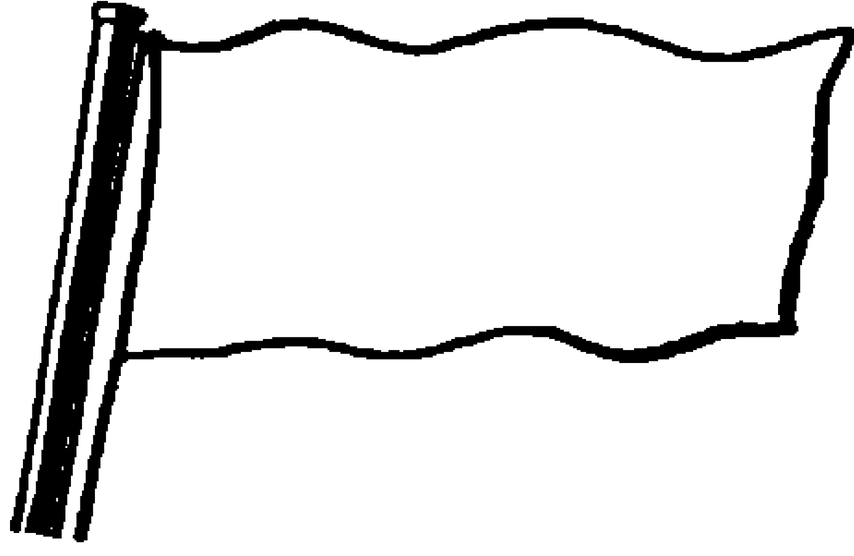
وهكذا ، نجد ان التموجات تتكون على مقربة من سطح الجسم ، الذى تغمره المياه ثم تنحسر عنه . ومما يدل على وجود الدوامات ، مثلا ، الشكل المتلوى كالحيّة ، الذى يصبح عليه الحبل الممتد فى مجرى الماء (عندما يكون احد طرفيه مربوطا ، والطرف الاخر حرا) . ما الذى يحدث للحبل هنا ؟ ان الدوامة الناشئة بالقرب من احد أقسام الحبل ، تسحب معها ذلك القسم ، وفى اللحظة التالية تسحب نفس القسم دوامة اخرى فى اتجاه معاكس ، فيتكون بذلك الشكل المتلوى كالحية (شكل ٧٨) .



شكل ٧٧ : تتكون الموجات الرملية على ساحل البحر بتأثير حركة الماء الاضطرابية (الدوامات المائية) .



شكل ٧٨ : ان الحركة الموجية للحبل الموجود فى داخل الماء الجارى ، تنشأ نتيجة لحركة الماء الاضطرابية (وجود الدوامات المائية) .



والآن ننتقل من السوائل الى الغازات ، ومن الماء الى الهواء . من منّا لم ير كيف تقوم العواصف برفع الاتربة والقش وغيرها ، من الارض الى الجو ؟ ان هذا يدل على ظهور التيار الدوامى للهواء بمحاذاة سطح الارض . اما عند هبوب الهواء بمحاذاة سطح الماء ، فتظهر فى اماكن نشوء الدوامات ، تحدبات على سطح الماء — اى يتموج الماء — وذلك نتيجة لانخفاض ضغط الهواء فى تلك الاماكن . ونفس السبب السابق ، يؤدى الى نشوء التموجات الرملية فى الصحارى وعلى كثبان الرمل فى المنحدرات (شكل ٨٠) . ومن السهل ان نفهم الان لماذا يخفق العلم عند هبوب الرياح (شكل ٧٩) . ان ما يحدث للعلم فى هذه الحالة ، هو نفس الشئ الذى يحدث للحبل الممدود فى مجرى الماء . ان مشير الريح (صفيحة معدنية تبيّن اتجاه الريح) لا يحافظ على اتجاه ثابت فى الجو العاصف ، ولكنه يتذبذب باستمرار ، تبعا لاضطراب الهواء . والنشوء الاضطرابى

شكل ٧٩ : علم يرفرف فى الهواء.



شكل ٨٠ : سطح الرمل المتموج فى الصحراء .

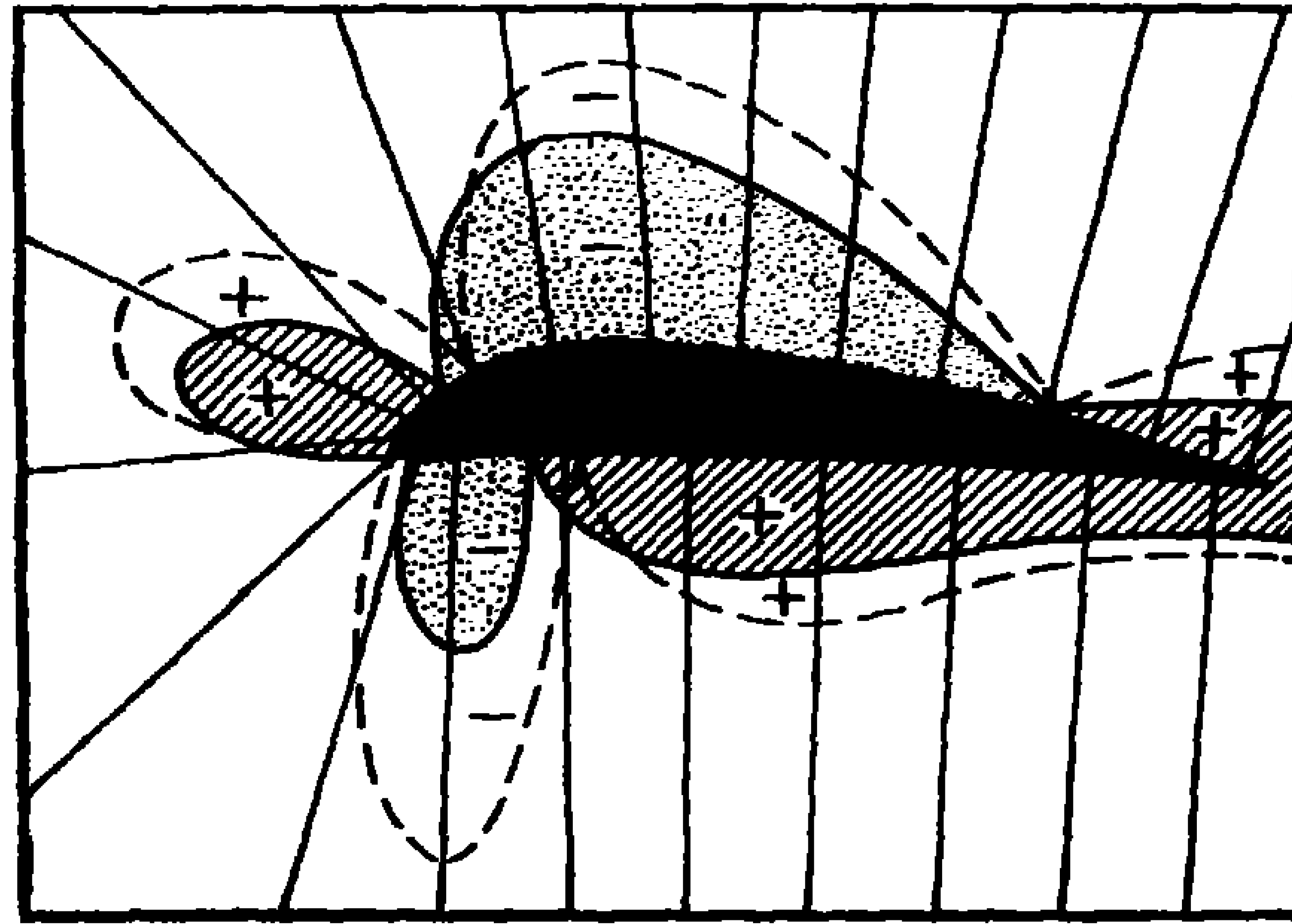


شكل ٨١ : اعمدة الدخان المتصاعد من مدخنة المصنع .

لاعمدة الدخان المتصاعد من مدخنة المصنع ، يشبه ذلك تماما ، حيث تمر غازات الفرن من خلال المدخنة بحركة اضطرابية (دوامية) ، تستمر بعض الوقت استمرارا ذاتيا ، بعد خروجها من المدخنة نهائيا (شكل ٨١) .

ان الحركة الاضطرابية بالنسبة للطيران ، على درجة كبيرة من الاهمية . وتصمم أجنحة الطائرات ، بحيث يكون حيّز الهواء المخلخل تحت الجناح ، مملوءا بمادة الجناح ، مع تقوية الحركة الاضطرابية ، الناشئة فوق الجناح . ونتيجة لذلك يسند الجناح من الاسفل ويتعلق بالمص من الاعلى (شكل ٨٢) . وهذا شبيه بما يحدث عند تحليق الطيور بأجنحة منشورة .

ما هو تأثير الريح ، التى تهب على السقف ؟ ان الحركة الاضطرابية للريح تؤدى الى تخلخل الهواء الموجود فوق السقف ، وهنا يحاول الهواء الموجود تحت السقف ، معادلة الضغط الخارجى ، فيضغط على السقف من الداخل ويدفعه الى الاعلى . وفى النتيجة ، نرى ان الريح كثيرا ما تؤدى الى خلع السقوف الخفيفة ، غير المثبتة بقوة .



شكل ٨٢ : رسم تخطيطى للقوى التى يتعرض لها جناح الطائرة . توزيع ضغط الهواء (+) وتخلخله (−) بالنسبة لجناح الطائرة ، وذلك بناء على التجربة الواقعية . ان التأثير الموحد لكافة قوى الدفع والمص (السحب) يؤدى بالنتيجة الى رفع الجناح الى الاعلى . (ان الخطوط السوداء تبين كيفية توزيع الضغط ؛ اما الخطوط المنقطة فتبين توزيع الضغط عند زيادة سرعة الطيران الى حد كبير فجأة) .

ولنفس السبب السابق ، يتحطم زجاج النوافذ الواسعة من الداخل ، عندما يكون الجو عاصفا (ولا يتحطم تحت تأثير الضغط المؤثر من الخارج) .

ولكن ، من الاسهل تفسير هذه الظواهر ، بانخفاض الضغط فى الهواء المتحرك (راجع قانون برنولى، الذى سبق ذكره على الصفحة ١٤٢) عندما يمر تيار هواء بمحاذاة تيار هواء آخر ، يختلف عنه فى درجة الحرارة والرطوبة ، تنشأ فى كل منهما حركة اصطرابية (دوامية) . ان الاشكال المختلفة للغيوم ، تعتمد على هذه الظاهرة اعتمادا كبيرا .

وهكذا نرى ان هناك عددا كبيرا من الظواهر ، ينشأ نتيجة لوجود التيارات الاضطرابية (الدوامية) .

رحلة الى مركز الارض

لم يستطع احد حتى الآن ان يتوغل فى داخل الارض الى عمق يزيد على ٣ر٣ كم ، بينما يبلغ نصف قطر الكرة الارضية ٦٤٠٠ كم . اى ان هناك طريقا طويلا جدا ، يجب قطعه للوصول الى مركز الارض . غير ان مؤلف القصص الخيالية المبدع جول فيرن ، ساعد بطلى قصته فى التوغل الى أعماق بعيدة فى باطن الارض نحو مركزها . وهذان البطلان هما البروفيسور الغريب الاطوار ليدينبروك وابن اخيه أكسيل . وقد وصف جول فيرن فى روايته الخيالية «رحلة الى مركز الارض» ، المغامرات المدهشة لهذين البطلين فى أعماق الكرة الارضية . وكان من جملة الاشياء غير المتوقعة ، التى صادفت البطلين فى رحلتهما هذه ، هى زيادة كثافة الهواء . وكان الهواء يتخلخل بسرعة كلما اقترب من سطح الارض ، حيث تقل كثافته على التوالى الهندسى ؛ فى الوقت الذى يزداد فيه الارتفاع على التوالى الحسابى . وعلى عكس ذلك ، فعند الانخفاض الى الاسفل ، تحت مستوى سطح البحر ، يجب ان تزداد كثافة الهواء ، وذلك تحت تأثير ضغط الطبقات الفوقية . وبطبيعة الحال ، انتبه الرحالة الى هذه الظاهرة ، اثناء رحلتهم الى مركز الارض .

واثناء وجودهما فى باطن الارض ، على عمق ١٢ فرسخا (٤٨ كم) ، جرى بين البروفيسور وابن اخيه ، الحوار التالى :

« سأل البروفيسور ابن اخيه قائلا :

ـ انظر الى ما يشير اليه المانومتر .

ـ انه يشير الى ضغط مرتفع جدا .

ـ انك ترى الان اننا كلما هبطنا الى الاسفل شيئا فشيئا ، سنعتاد تدريجيا على الهواء المكثف ، وهكذا سوف لن نتأثر من جراء ذلك .

ـ هذا اذا لم نأخذ آلام الاذنين فى الاعتبار .

ـ انها آلام طفيفة .

وقررت الا اناقض عمى فى اقواله ، فاجبته :

ـ نعم بالفعل ، حتى ان الانسان ليشعر بالارتياح عند وجوده فى جو من الهواء المكثف . هل لاحظت كيف تدوى الاصوات بقوة فى هذا الجو ؟

ـ طبعا ، حتى الاطرش يستطيع سماع الاصوات فى هذا الجو .

ـ ولكن كثافة الهواء ستزداد أكثر فأكثر . ألا يمكن ان تصل هذه الكثافة فى نهاية الامر الى كثافة الماء ؟

ـ طبعا ، يمكن ان تصل الى كثافة الماء تحت ضغط يعادل ٧٧٠ ضغطا جويا .

ـ واذا هبطنا الى الاسفل اكثر من ذلك ؟

ـ تزداد كثافة الهواء ايضا .

ـ وكيف ستتمكن من الهبوط عندئذ ؟

ـ سنقوم بذلك بعد ان نملأ جيوبنا بالاحجار .

ـ لله درّك يا عماه ، انك تستطيع الاجابة على كافة الاسئلة !

وتوقفت عن التوغل فى عالم الهواجس ، لاننى كنت على الارجح ، سافكر ثانية ببعض العراقيل ، التى تغضب عمى . ولكنه كان من الواضح ، بان الهواء قد يتحول الى الحالة الصلبة ، عند وصول الضغط الى عدة آلاف ضغط جوى . وعندئذ ، حتى

اذا أمكننا تحمل مثل هذا الضغط ، لوجب علينا مع ذلك ، ان نتوقف عن الهبوط الى أكثر من ذلك . وفي هذه الحالة ، لا يفيدنا النقاش مهما كان نوعه » .

الخيال وعلم الرياضيات

دعنا نتحقق من صحة الحوادث التي ذكرها جول فيرن على لسان أبطال روايته في النبذة السابقة المقتطفة من الرواية المذكورة . وللقيام بذلك ، سوف لن نضطر الى الهبوط الى اعماق الارض ، لان كل ما نحتاجه في هذا الصدد ، لا يزيد عن ورقة وقلم فقط .

لنحاول قبل كل شيء ، ان نحدد العمق الذي يجب ان نهبط اليه كي يزداد الضغط بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما هو عليه. ان الضغط الجوي العادي يساوي ٧٦٠ مم زئبقي. ولو كنا نعيش في جو من الزئبق ، لا في جو من الهواء ، لكان علينا ان نهبط الى عمق قدره $\frac{٧٦٠}{١٠٠٠}$ ٧٦ر٠ مم، كي يزداد الضغط بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما هو عليه . اما في الهواء ، فلكي نقوم بذلك يجب علينا بطبيعة الحال ، ان نهبط الى عمق يزيد على ذلك بمقدار كبير جدا ، يساوي بالضبط عدد المرات التي يزيد فيها ثقل الزئبق على ثقل الهواء — اى بمقدار ١٠٥٠٠ مرة .

وهذا يعني انه بزيادة الضغط بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما هو عليه، يجب الا نهبط الى عمق ٧٦ر٠ مم ، كما في جو الزئبق ، بل الى عمق يساوي ٧٦ر٠×١٠٥٠٠ مم ، اى حوالى ٨ م . وعندما نهبط مقدار ثمانية أمتار أخرى ، يزداد الضغط الاخير بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما اصبح عليه،وهلم جرا *. ومهما اختلفت المستويات التي نقف عليها — أوقفنا

---

* بما ان كل طبقة هواء تالية بسمك ٨ م ، تكون اكثف من سابقتها ، اذن تكون القيمة المطلقة لزيادة الضغط في كل طبقة ، اكبر مما هي عليه في الطبقة التي تقع فوقها . وهذه الزيادة يجب ان تكون اكبر من سابقتها ، لانها هنا تساوي $\frac{١}{١٠٠٠}$ من اكبر قيمة للضغط .

على سطح العالم (٢٢ كم) ، ام على قمة جبل أفريست (٩ كم) ، ام بالقرب من سطح البحر — يجب علينا ان نهبط مقدار ٨ م ، كى يزداد الضغط الجوى بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ من قيمته الاولية . ونتيجة لذلك، نحصل على الجدول التالى، الذى يبين لنا كيف يزداد الضغط الجوى بزيادة العمق :

الضغط عند مستوى الارض = ٧٦٠ مم = الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٨ م = ١ر٠٠١ من الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٢×٨ م = (١ر٠٠١)^{٢} من الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٣×٨ م = (١ر٠٠١)^{٣} من الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٤×٨ م = (١ر٠٠١)^{٤} من الضغط الجوى .

وبصورة عامة ، فان الضغط الجوى على عمق ن×٨ م ، يكون أكبر من الضغط الجوى العادى بمقدار (١ر٠٠١)^{ن} مرة ؛ وطالما لم يصل الضغط الى حد كبير جدا ، فان كثافة الهواء تزداد بنفس العدد من المرات (قانون ماريوت) .

وفى هذه الحالة ، نلاحظ ان جول فيرن يؤكد ان البروفيسور وابن اخيه لم يهبطا الى عمق يزيد على ٤٨ كم ، ولهذا يمكننا اهمال التضاؤل فى قوة الجاذبية ، وما يتعلق به من نقصان فى وزن الهواء :

والان ، لنحسب مقدار الضغط ، الذى تعرض له البروفيسور وابن اخيه ، عند هبوطهما الى عمق ٤٨ كم (٤٨٠٠٠ م) . نعرف من الصيغة السابقة ان ن = $\frac{٤٨٠٠٠}{٨}$ = ٦٠٠٠ . ويجب الان استخراج قيمة المقدار (١ر٠٠١)^{٦٠٠٠} . بما ان القيام بضرب العدد ١ر٠٠١ فى نفسه ٦٠٠٠ مرة، يعتبر عملا مملا ويستغرق وقتا كثيرا ، فاننا سنلجأ الى استخدام اللوغاريتمات ، التى تحدث عنها بصدق ، العالم الفرنسى لابلاس ، وقال فى معرض حديثه ، بان اللوغاريتمات تختصر العمل وتضاعف أعمار

القائمين بالحساب * . وباستخدام اللوغاريتمات ، نجد ان لوغاريتم العدد المجهول يساوى :

٦٠٠٠ × لو ١,٠٠١ = ٦٠٠٠ × ٠,٠٠٠٤٣ = ٢,٦

ومن جدول اللوغاريتمات ، نجد ان العدد المجهول ، الذى لوغاريتمه يساوى ٢,٦ ، هو العدد ٤٠٠ . وهكذا يكون الضغط على عمق ٤٨ كم ، أكبر من الضغط الجوى العادى بـ ٤٠٠ مرة ؛ ان كثافة الهواء تزداد عند مثل هذا الضغط — كما اثبتت التجارب — بمقدار ٣١٥ مرة . ولذلك يشك فى ان البروفيسور وابن اخيه لم يشعرا بأية مضايقات ، سوى « بآلام في الاذنين » فقط . ولكن جول فيرن يحدثنا فى روايته ، عن وصول الانسان الى أعماق بعيدة تحت سطح الارض ، تبلغ بالذات ١٢٠ كم ، وحتى ٣٢٥ كم . ان ضغط الهواء يجب ان يصل فى تلك الاعماق الى درجات هائلة ، فى الوقت الذى لا يزيد فيه الضغط ، الذى يستطيع الانسان تحمله بدون أذى ، على ثلاثة او اربعة ضغوط جوية فقط .

وبموجب الصيغة السابقة ، اذا حسبنا العمق الذى تصبح فيه كثافة الهواء مساوية لكثافة الماء ، اى تزداد كثافته بمقدار ٧٧٠ مرة ، لوجدنا ان ذلك العمق يساوى ٥٣ كم . ولكن هذه النتيجة غير صحيحة ، لان كثافة الغاز عند الضغوط العالية ، لا تتناسب تناسبا طرديا مع الضغط . ان قانون ماريوت ينطبق تماما على الغازات ، عندما لا يكون

---

* ان كل من لم يحب اللوغاريتمات ، منذ كان طالبا فى المدرسة ، يمكن ان يغير من شعوره هذا ، بعد ما يقرأ ما كتبه عنها العالم الفلكى الفرنسى العظيم لابلاس ، فى كتابه الممنون « استعراض المنظومة العالمية » ، الذى نقتطف منه السطور التالية :

« ان اختراع اللوغاريتمات ، ادى الى اختصار الوقت الذى تستغرقه العمليات الحسابية ، من عدة اشهر الى عدة ايام فقط . وبذلك ، فانها تضاعف اعمار الفلكيين ؛ وتحررهم من الخطأ والتعب الفكرى ، الملازمين للعمليات الحسابية الطويلة . ويحق للعقل البشرى ان يفخر بهذا الاختراع ، الذى تمخض عنه برمته . ولمضاعفة قدرة الانسان فى مجالات الصناعة ، فانه يلجأ الى استخدام المواد والقوى الطبيعية المتوفرة حواليه . اما اللوغاريتمات ، فتعتبر من نتاج العقل البشرى بالذات » .

الضغط مرتفعا جدا ، بحيث يزيد على عدة مئات من الضغوط الجوية . والجدول التالى ، الموضوع على أساس التجربة ، يبين العلاقة بين الكثافة والضغط :

الضغط	الكثافة
٢٠٠ جوى	١٩٠
٤٠٠ «	٣١٥
٦٠٠ «	٣٨٧
١٥٠٠ «	٥١٣
١٨٠٠ «	٥٤٠
٢١٠٠ «	٥٦٤

ان ازدياد الكثافة كما نرى ، تتخلف تخلفا محسوسا عن ازدياد الضغط . وكان من العبث ان يتوقع البروفيسور — بطل جول فيرن — الوصول الى عمق تزيد فيه كثافة الهواء على كثافة الماء ، لان هذا شئ لا يمكن توقعه ، حيث لا تصل كثافة الهواء الى كثافة الماء ، الا تحت ضغط يساوى ٣٠٠٠ ضغط جوى . وبعد ذلك لن يتأثر بزيادة الضغط تقريبا ، أى لا ينضغط أكثر من ذلك . اما الحديث عن تحويل الهواء الى الحالة الصلبة ، بواسطة الضغط وحده فقط ، وبدون اللجوء الى التبريد الشديد (تحت — ١٤٦° مئوية) ، فهو حديث غير وارد بالمرة .

ولكن الحقيقة تدعونا الى التنويه بان رواية جول فيرن المذكورة ، صدرت قبل ان يطلع الناس على الحقائق المذكورة هنا ، بوقت طويل . وهذا الامر يرفع المسئولية عن عاتق المؤلف ، غيرُ انه لا يصحح من وقائع الرواية . والآن ، لنستخدم الصيغة المذكورة سابقا ، مرة اخرى ، لحساب أكبر عمق يمكن ان يصله الانسان فى داخل احد المناجم ، بدون ان تتأثر صحته بذلك . ان اكبر ضغط جوى يمكن لجسم الانسان

ان يتحمله ، يعادل ثلاثة ضغوط جوية * . نرمز الى عمق المنجم المجهول بالحرف س ، فنحصل على المعادلة التالية :

$$(١,٠٠١)^{\frac{س}{٨}} = ٣$$

وباستخدام جداول اللوغاريتمات ، نستخرج قيمة س ، فنجد انها تساوى ٩ر٨ كم .

وهكذا نرى ان الانسان يستطيع النزول الى عمق ٩ كم تقريبا ، بدون ان يصاب باذى . ولو فرضنا ان المحيط الهادى قد جف تماما ، لكان باستطاعة الناس العيش فى اية بقعة على قاعه .

فى منجم عميق

من الذى استطاع الاقتراب من مركز الارض — فى الحقيقة وليس فى القصص الخيالية — اكثر ما يمكن ؟ انهم بطبيعة الحال عمال المناجم . لقد عرفنا من السابق (راجع الفصل الرابع) ، بان أعمق منجم فى العالم ، يوجد فى جنوب افريقيا . ان هذا المنجم يمتد فى اعماق الارض الى مسافة تزيد على ٣ كم . وهنا لا نقصد بذلك العمق الذى يصل اليه مثقب الحفر ، والبالغ ٥ر٧ كم ، بل العمق الذى وصل اليه الانسان بالذات . واليكم مثلا ، ما قاله الكاتب الفرنسى الدكتور لوك ديورتن ، بعد ان زار بنفسه احد المناجم فى منطقة مورو فيلخو (يبلغ عمق ذلك المنجم حوالى ٢٣٠٠ م) :

« ان مناجم الذهب المشهورة فى منطقة مورو فيلخو ، تقع على بعد ٤٠٠ كم من مدينة ريو دى جانيرو . وبعد ١٦ ساعة من السفر بالقطار خلال مناطق جبلية ، انحدرنا فى وهاد عميق محاط بالغابات . وفى هذا المكان ، تقوم احدى الشركات الانكليزية باستخراج الذهب على عمق لم يسبق لاى انسان ان وصل اليه فى اى وقت كان . ان طبقة الارض التى تحتوى على الذهب ، منحدرة الى الاسفل بعمق ، ويتبعها

---

* تمكن العلماء اخيرا من انزال انسان فى الماء الى عمق يزيد على ٣٠٠ م ، بدون ارتداء ثوب الغوص ، حيث يصل الضغط الى ٣٠ ضغطا جويا .

المنجم بعد ست درجات للنزول . وهنا نجد ان المناجم العمودية شبيهة بالآبار ، والمناجم الافقية شبيهة بالانفاق . والشيء الذى يميز المجتمع المعاصر بوضوح ، هو ان قيام الانسان باجرأ محاولة للتوغل فى أعماق الارض — أى حفر أعمق منجم فى باطن الارض — كان لغرض الحصول على الذهب لا غير .

وارتدينا ثياب العمل والجاكتات الجلدية ، وكنا حذرين جدا ، لان سقوط أصغر حجر ، يمكن ان يؤدى الى جرح احدنا . وبعد ذلك رافقنا احد رؤساء الفرق فى المنجم ، ودخلنا فى النفق الاول ، المضاء بصورة جيدة . وهنا شعرنا بقشعريرة فى اجسامنا ، بسبب الهواء البارد ، الذى تبلغ درجة حرارته ٤° مئوية فقط ، والمنبعث من أجهزة التهوية المعدة لتلطيف الهواء فى أعماق المنجم . وبعد ان اجتزنا البئر الاولى وعمقها ٧٠٠ م ، بركوبنا فى داخل قفص معدنى ضيّق ، وجدنا أنفسنا فى النفق الثانى . وعندما هبطنا فى البئر الثانية ، شعرنا بان الهواء قد اصبح اكثر دفئا من السابق ، لاننا نزلنا تحت مستوى سطح البحر . وعند وصولنا الى البئر التالية ، أخذ الهواء يلفح وجوهنا بحرارته . وبعد ان اخذ العرق يتصبب من أجسامنا ونحن نسير بظهور منحنية فى داخل القبو المنخفض السقف ، وصلنا الى موضع المكنات الثاقبة (الثقابات) . وهنا ، فى هذا الجو المثقل بالغبار ، يشتغل عمال المناجم وقد نزعوا اكثر ما يمكن من ملابسهم ، واجسامهم تتصبب عرقا ، وهم يتداولون بأيديهم قارورة الماء باستمرار . ولم نجرأ على لمس كتل الخام المقطوعة للتو ، لان درجة حرارتها تبلغ ٥٧° مئوية . ما هى حصيلة هذا الواقع المرعب البشع ؟ حوالى عشرة كيلوجرامات من الذهب فى اليوم الواحد ... »

عند وصف الظروف الطبيعية فى قاع المنجم ، والتحدث عن استغلال العمال الى أقصى حد ممكن ، يشير الكاتب الفرنسى الى درجة الحرارة المرتفعة ، ولكنه لا يذكر اى شيء عن زيادة ضغط الهواء . لنحسب اذن مقدار الضغط الموجود على عمق ٢٣٠٠ م . اذا فرضنا ان درجة الحرارة بقيت كما هى عليه عند سطح الارض ، فان كثافة الهواء ستزداد عندئذ — طبقا للصيغة المعروفة لدينا — بمقدار $(١ر٠٠١)^{\frac{٢٣٠٠}{٨}} =$ = ١ر٣٣ مرة .

وفى الحقيقة ، فان درجة الحرارة لا تبقى ثابتة ، ولكنها ترتفع . ولذلك ، فان كثافة الهواء لا تزداد كثيرا مثل زيادة درجة الحرارة ، بل أقل من ذلك . وفى نهاية الامر ، يصبح الفرق بين كثافتى الهواء الموجود فى قاع المنجم والهواء الموجود فوق سطح الارض ، أكبر بقليل من الفرق بين كثافتى الهواء فى اليوم القائظ وفى اليوم القارس البرد . وقد اصبح من الواضح الان ، سبب عدم انتباه زوار المنجم الى هذه الحالة .

ومن الناحية الاخرى ، تكون رطوبة الهواء العالية فى هذه المناجم العميقة ، على درجة كبيرة من الخطورة ، لانها تجعل المكوث فى اعماقها لا يطاق ، عند درجة الحرارة المرتفعة . وفى احد المناجم القريبة من مدينة جوهانسبرج فى جنوب افريقيا ، حيث يبلغ عمقه ٢٥٥٣ م ، تصل الرطوبة الى ١٠٠٪ عند درجة حرارة قدرها ٥٠° مئوية . وللتغلب على هذه الظروف الصعبة ، جهّزت مرافق المنجم بمكيّفات الهواء ، لخلق « مناخ اصطناعى » فى أعماق المنجم . ان تأثير مكيفات الهواء المذكورة ، يعادل تأثير ٢٠٠٠ طن من الجليد .

فى طبقة الستراتوسفير الجوية

فى المواضيع السابقة من هذا الكتاب ، تنقلنا نظريا فى أعماق الارض . وقد ساعدتنا فى مهمتنا هذه ، الصيغة التى تبين العلاقة بين ضغط الهواء والعمق . ولنحاول الآن ، الصعود الى الاعلى ، مستخدمين نفس الصيغة السابقة ، لنرى كيف يتغير ضغط الهواء فى الارتفاعات العالية . فى هذه الحالة ، تأخذ الصيغة المذكورة الشكل التالى :

$$ض = (٠,٩٩٩)^{\frac{ع}{٨}} ،$$

حيث ض = الضغط ، مقاسا بالضغوط الجوية ،

ع = الارتفاع بالامتار .

وفى هذه الحالة يكون الكسر العشرى ٩٩٩ر٠ بديلا للعدد ١٠٠١ر١ ، ذلك لانه عندما نرتفع الى الاعلى مقدار ٨ م ، فان الضغط لا يزداد بمقدار ٠٠١ر٠ ، بل يقل بمقدار ٠٠١ر٠ .

لنحسب قبل كل شئ ، العلو الذى يجب ان نرتفع اليه لكى يقل الضغط الى النصف .

ان قيمة ض فى هذه الحالة تساوى ٥ر٠ ، يبقى لدينا مجهول واحد هو الارتفاع ع . وبعد التعويض نحصل على المعادلة التالية :

$$(٠,٩٩٩)^{\frac{ع}{٨}} = ٠,٥$$

ويمكن حل هذه المعادلة بسهولة ، وذلك باستخدام اللوغاريتمات كما مر سابقا ، حيث نجد ان ع = ٦ر٥ كم ، وهو الارتفاع الذى يقل عنده ضغط الهواء الى النصف . والان ، لنرتفع فى الجو الى علو أكبر ، ونتعقب ملاحى المناطيد السوفييت الشجعان ، الذين سجلوا فى عامى ١٩٣٣ و١٩٣٤ ،رقمين قياسيين عالميين فى الارتفاع بالمنطاد،حيث بلغ الرقم الاول ١٩ كم ، والثانى ٢٢ كم على التوالى . ان هذه المناطق العليا من الجو ، تسمى بـ « الستراتوسفير » ، ولهذا فقد أطلق على المناطيد التى تحلق الى تلك الاجواء العليا ، اسم مناطيد الستراتوسفير ، لتمييزها عن المناطيد الجوية العادية .

ولنحاول الآن حساب الضغط الجوى الموجود عند هذه الارتفاعات الشاهقة .

ان الضغط الجوى على ارتفاع ١٩ كم ، يجب ان يساوى :

$$(٠,٩٩٩)^{\frac{١٩٠٠٠}{٨}} = ٠,٠٩٥$$ من الضغط الجوى العادى = ٧٢مم .

والضغط الجوى على ارتفاع ٢٢ كم ، يجب ان يساوى :

$$(٠,٩٩٩)^{\frac{٢٢٠٠٠}{٨}} = ٠,٠٦٦$$ من الضغط الجوى العادى = ٥٠ مم .

ولكننا اذا نظرنا الى الارقام التى سجلها ملاحو المناطيد ، لرأينا انها تختلف عن هذه الارقام ، حيث نجد ان الضغط الجوى على ارتفاع ١٩ كم يساوى ٥٠ مم ، وعلى ارتفاع ٢٢ كم يساوى ٤٥ مم .

لماذا لا ينطبق حسابنا مع الواقع ؟ وأين يكمن الخطأ ؟ ان قانون ماريوت للغازات ينطبق تماما على حالة الضغط القليل هذه ، ولكننا فى هذه المرة ارتكبنا خطأ جديدا ، وذلك عندما اعتبرنا ان درجة حرارة الهواء تبقى ثابتة ، فى كافة مناطق الطبقة الجوية التى يبلغ ارتفاعها ٢٠ كم ، بينما تنخفض هذه الدرجة بشكل محسوس ، كلما ارتفعنا الى الاعلى أكثر فاكثر .

ان درجة الحرارة تنخفض بمقدار ٥ر٦° مئوية فى المعدل ، كلما ارتفعنا كيلومترا واحدا فى الجو ، وهكذا الى ان نصل الى ارتفاع قدره ١١ كم ، حيث تبلغ درجة الحرارة — ٥٦ °مئوية ، وبعد ذلك تبقى هذه الدرجة ثابتة ، حتى بعد الوصول الى ارتفاع كبير جدا . واذا أخذنا هذه الحالة فى الاعتبار (الامر الذى لا تكفى الرياضيات الاولية لتحقيقه) ، فسوف نحصل على نتائج مطابقة للواقع الى حد كبير . ولهذا السبب بالذات ، يجب كذلك النظر الى نتائج حساباتنا السابقة ، المتعلقة بضغط الهواء فى أعماق الارض ، على انها نتائج تقريبية .

وأخيرا ، لا بد من الاشارة الى ان الانسان ، استطاع فى السنوات الاخيرة ، الوصول الى ارتفاع أعلى من السابق بكثير . ويوجد الان عدد كبير من الطائرات التى يمكنها التحليق على ارتفاع يتراوح بين ٢٥ — ٣٠ كم . اما الرقم القياسى العالمى للارتفاع فى الجو ، فقد قفز الى ٣٤ كم .

الفصل السابع | الظواهر الحرارية

المراوح

عندما تهوى النساء انفسهن بالمراوح ، فانهن يشعرن طبعا بالهواء البارد المنعش . ويبدو ان هذا العمل لا يضر بتاتا ببقية الناس الموجودين فى الصالة ، وان على الحاضرين ان يشكروا النساء على قيامهن بتبريد الهواء فى الصالة .

والآن لنر مدى صحة هذا القول .

لماذا نشعر بالانتعاش والرطوبة ، عندما نهوى انفسنا بالمروحة ؟ ان الهواء الملاصق للوجه مباشرة ، يسخن ويصبح بمثابة قناع هوائى غير مرئى ، يلتصق بالوجه ويسخنه ، اى يؤدى الى ابطاء عملية فقدان الحرارة فيما بعد . واذا كان الهواء من حولنا ساكنا ، فان طبقته الساخنة الملاصقة للوجه لا تزاح الى الاعلى من قبل الهواء البارد الثقيل الا ببطء شديد . وعندما نزيح عن وجهنا القناع الهوائى الساخن بواسطة المروحة ، فاننا نجعل الوجه يتلامس مع طبقات متجددة من الهواء البارد ، ويعطيها حرارته باستمرار .

وهكذا نرى ان الجسم يبرد ، ونشعر بالرطوبة المنعشة . وهذا يعنى انه عند قيام النساء بتهوية انفسهن بالمراوح ، فانهن يطردن عن وجوههن باستمرار الهواء الحار ليحل محله الهواء البارد الذى يسخن هو الآخر ويطرد بدوره لكى تحل محله طبقة جديدة من الهواء البارد ، وهكذا ... ان التهوية بالمروحة تعجّل من اختلاط الهواء ، وتساعد على سرعة اعتدال درجة حرارة الهواء فى كافة انحاء الصالة ، اى تنعش اصحاب المراوح على حساب الهواء الاكثر برودة والذى يحيط ببقية الحاضرين .

وهناك حالة اخرى ، لها علاقة مهمة بعملية التهوية بالمروحة وسوف نتحدث عنها الآن .

لماذا نشعر بالبرد عند هبوب الرياح ؟

ان الناس الذين يعيشون فى المناطق الباردة ، يعرفون انه من الممكن تحمل البرد فى الجو الهادئ ، اسهل كثيرا من تحمله عند هبوب الرياح . ولكن لا يمكن القول بان الناس جميعهم ، يدركون بوضوح سبب هذه الظاهرة .

ان الكائنات الحية وحدها ، هى التى تشعر ببرد اكثر عند هبوب الرياح لان المحرار لا يشير الى انخفاض درجة الحرارة مطلقا ، حين تعرضه للرياح . والشعور بالبرد القارس فى الجو الصقيعى العاصف،يفسّر قبل كل شئ بان الرياح تأخذ من الوجه (وبصورة عامة من الجسم) كمية من الحرارة ، اكبر بكثير من الكمية التى تأخذها منه فى الجو الهادئ ، عندما لا يمكن لطبقة جديدة من الهواء البارد ان تحل بنفس السرعة محل طبقة الهواء الحارة الملاصقة للجسم الذى قام بتسخينها . وبازدياد قوة هبوب الرياح ، تزداد كتلة الهواء التى تلامس بشرة الجسم فى كل دقيقة . وبالتالى ، تزداد كمية الحرارة التى تؤخذ من الجسم فى كل دقيقة . وهذا وحده ، كاف لجعل الانسان يشعر بالبرد .

ولكن ثمة سبب آخر . ان العرق يتبخر دائما من جسم الانسان ، حتى فى الجو البارد . وعملية التبخر هذه تحتاج الى حرارة ، والحرارة بدورها تؤخذ من الجسم ومن طبقة الهواء الملاصقة له .

وعندما يكون الهواء ساكنا تتم عملية التبخر ببطء ذلك لان طبقة الهواء الملاصقة للجسم سرعان ما تتشبع بالابخرة (ان عملية التبخر لا تتم بسرعة عندما يكون الهواء مشبعا بالرطوبة) . اما اذا كان الهواء متحركا ، بحيث تلامس طبقاته المتجددة ، بشرة الجسم باستمرار فان التبخر سيصبح وفيرا جدا ، الامر الذى يحتاج الى كمية كبيرة من الحرارة ، التى تؤخذ بدورها من الجسم .

ما هو مدى تأثير التبريد ، الذى تحدثه الرياح ؟ انه يعتمد على سرعة الهواء ودرجة حرارته ، وبصورة عامة ، يكون تأثيره اكبر بكثير مما يتصوره الناس عادة . واقدم للقراء الآن ، مثالا يوضح مدى تأثير الرياح على انخفاض درجة حرارة الجسم .

لنفرض ان درجة حرارة الهواء بلغت ٤ °مئوية ، وكانت الرياح ساكنة تماما . فى مثل هذه الظروف ، تبلغ درجة حرارة بشرة الجسم ٣١ °مئوية . فاذا هبت رياح خفيفة ، بحيث لا تتحرك عندها اوراق الاشجار بتاتا ، ولا ترفرف الاعلام الا بصعوبة (وسرعة مثل هذه الرياح تساوى ٢ م/ثانية) ، فان بشرة الجسم تبرد بمقدار ٧ °مئوية . وعند هبوب رياح تؤدى الى رفرفة الاعلام (وسرعة مثل هذه الرياح تساوى ٦ م/ثانية) ، تبرد بشرة الجسم بمقدار ٢٢ °مئوية ، اى تنخفض درجة حرارتها الى ٩ °مئوية !

ان هذه المعطيات مأخوذة من كتاب « استخدام اسس فيزياء الجو للاغراض الطبيّة » لمؤلفه الاستاذ كالينين . والقارئ المحب للاستطلاع ، يجد فى هذا الكتاب كثيرا من التفاصيل الطريفة .

وهكذا ، فلمعرفة مدى تأثرنا بالصقيع ، لا نستطيع الاكتفاء بقراءة درجة الحرارة فقط ، بل يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، سرعة الرياح ايضا . ويكون تحمّل نفس الدرجة من الصقيع فى لينينجراد ، اصعب من تحملها فى موسكو ، ذلك لان معدل سرعة الرياح على سواحل بحر البلطيق يتراوح بين ٥ — ٦ م/ثانية ، بينما يبلغ معدلها فى موسكو ٤ر٥ م/ثانية فقط . واسهل من ذلك تحمل الصقيع بالقرب من بحيرة بايكال ، حيث يبلغ معدل سرعة الرياح ١ر٣ م/ثانية فقط . وليس من الصعب ابدا تحمل درجة الصقيع فى شرقى سيبيريا — التى تتراوح بين ٤٠° — ٦٠° مئوية تحت الصفر — كما يعتقد الناس ، الذين تعودوا على الرياح القوية فى اوربا . ذلك لان المناطق الشرقية فى سيبيريا ، تتميّز بسكون الرياح المطلق تقريبا ، وخاصة فى فصل الشتاء .

نسمات الصحراء اللافحة

ربما يفكر القارئ بعد قراءة الموضوع السابق ، بان الرياح يجب ان تنعش الناس حتى فى اليوم القائظ ، ثم يتساءل بعد ذلك ، عن سبب تحدث السيّاح عن نسمات الصحراء اللافحة !

ان هذا التناقض يعود الى ان الهواء .في المناطق الاستوائية، يكون أدفأ من جسم الانسان . ولا عجب فى ان الناس فى تلك المناطق ، لا يشعرون بالبرودة عند هبوب الرياح ، بل يشعرون بحرارة اكثر .

ان الحرارة فى تلك المناطق ؛ لا تنتقل من الجسم الى الهواء ، بل على العكس ، يقوم الهواء بتسخين جسم الانسان . ولذلك ، كلما زادت كتلة الهواء ، التى تلامس جسم الانسان فى الدقيقة الواحدة ، كلما زاد معها شعور الانسان بالحرارة .

وفى الحقيقة ، فان التبخر هنا ايضا يشتد عند هبوب الرياح ولكن السبب الاول يلعب الدور الرئيسى فى هذه الحالة . وهذا هو السبب الذى يجعل سكان المناطق الصحراوية ، مثل سكان جمهورية تركمانيا السوفييتية ، يرتدون الجبب الدافئة والقبعات المصنوعة من الفرو .

هل الخمار يدفىء ؟

وهذة مسألة اخرى من فيزياء الحياة اليومية .

تؤكد النساء بأن الخمار يدفىء ويبدونه تحسّس وجوههن بالبرد . وعندما ينظر الرجال الى القماش الخفيف للخمار ، الذى كثيرا ما يحتوى على ثقوب كبيرة مطرزة ، لا يميلون الى تصديق قول النساء ، ويفكرون بان الدفء الذى يبعثه الخمار فى وجوه النساء ، ما هو الا خدعة من بنات افكارهن .

ولكن ، عندما نتذكر الحديث السابق ، تزداد ثقتنا فيما تقوله النساء عن الخمار . ومهما كانت ثقوب تطريز الخمار واسعة، فان الهواء مع ذلك يتخلل مثل هذا القماش بصورة بطيئة نوعا ما . ان طبقة الهواء التى تلاصق الوجه مباشرة ، تسخن وتصبح بمثابة قناع هوائى دافىء محاط بالخمار ، لا يمكن للهواء الخارجى ان يزيحه بسهولة ، كما هى الحالة عند عدم وجود الخمار .

ولذلك ، ليس هناك ما يدعو الى عدم تصديق قول النساء ، بان الخمار يدفىء الوجه عندما تكون درجة الصقيع فى الشارع غير مرتفعة ، والرياح خفيفة .

القلل المبردة

اذا لم يكن القارئ قد رأى مثل هذه القلل ، فربما يكون قد سمع بها او قرأ عنها . ان لهذه الاواني المصنوعة من الفخار ، خاصيّة مدهشة ، هي جعل الماء الموجود في داخلها ابرد من الاشياء المحيطة به . وتنتشر هذه الاواني الفخارية انتشارا واسعا في بلدان المناطق الحارة حيث تطلق عليها اسماء مختلفة . ففي اسبانيا يطلق عليها اسم « الكارازا » ، وفي مصر « قلّة » الخ .. ان سر التبريد الذي تحدثه هذه الاواني، بسيط جدا ، ويتلخص فيما يلي : يرشح السائل من خلال الجدران الفخارية الى الخارج ، حيث يتبخر ببطء ، ويأخذ الحرارة اللازمة لذلك من الاناء ومن الماء الموجود في داخله .

ولا صحة لما يقال من ان السائل الموجود داخل هذه الاواني يبرد الى درجة كبيرة — كما نقرأ احيانا ما يكتبه السياح عن البلدان الجنوبية التي يزورونها . ان التبريد لا يمكن ان يكون على درجة كبيرة جدا ، اذ ان التبريد يعتمد على عدة عوامل . فكلما كان الجو حارا ، زادت سرعة ووفرة تبخر السائل ، الذي يرطّب جدران القلة من الخارج ، وبالتالي يصبح السائل الموجود في داخلها اكثر برودة . ويعتمد تبريد السائل على رطوبة الهواء المحيط ايضا . فاذا كان الهواء رطبا جدا ، يتم التبخر بصورة بطيئة ، ويبرد السائل قليلا . اما اذا كان الهواء جافا ، فعلى العكس مما سبق ، يتم التبخر بصورة سريعة ، ويبرد السائل اكثر من السابق .

والرياح بدورها تعجل من عملية التبخر ، وبذلك تساعد على تبريد السائل . والجميع يعرفون هذه الحقيقة ، وذلك عند الشعور بالبرد في حالة ارتداء ثوب مبلل في اليوم الدافئ الذي تهب فيه الرياح بقوة . ان انخفاض درجة الحرارة في داخل القلل المبردة ، لا يزيد على ٥° مئوية . ففي البلدان الجنوبية ، عندما يكون الجو قائظا ، وتصل درجة الحرارة احيانا الى ٣٣° مئوية ، نرى ان درجة حرارة الماء الموجود في داخل القلل المبردة ، تعادل درجة الحرارة في حمام دافئة ، اي ٢٨° مئوية . وهكذا نرى ان هذا التبريد عديم الفائدة من الناحية العملية . غير ان هذه القلل تحفظ الماء البارد جيدا ، وتستخدم لهذا الغرض على الاغلب .

ويمكننا ان نحاول حساب درجة تبريد الماء فى هذه القُلل . لنفرض ان لدينا قلة تتسع لـ ٥ لترات من الماء ، وان $\frac{١}{١٠}$ لتر من الماء قد تبخر. ولاجل تبّخر لتر واحد من الماء (١ كجم) ، نحتاج عند درجة حرارة اليوم القائظ (٣٣) ، الى حوالى ٥٨٠ سعرا (كالورى). وبما ان $\frac{١}{١٠}$ كجم من الماء قد تبخر فى هذه الحالة، فان ما صرف على هذه العملية يعادل ٥٨ سعرا . ولو كانت كمية الحرارة هذه ، قد اخذت من الماء الموجود فى القّلة فقط ، لانخفضت درجة حرارته بمقدار $\frac{٥٨}{٥}$ ، اى ١٢° مئوية . ولكن الجانب الاكبر من الحرارة المصروفة على عملية التبخر . يؤخذ من جدران القلة بالذات، ومن الهواء المحيط بها . ومن ناحية اخرى ، تقترن عملية تبريد الماء الموجود فى القلة ، بعملية تدفئته من قبل الهواء الحار الملاصق لجدران القلة . ولهذا السبب بالكاد ان تصل درجة التبريد ، الى نصف القيمة التى حصلنا عليها بواسطة الحساب .

ومن الصعب تعيين المكان ، الذى تكون فيه درجة تبريد القلل اكبر — تحت الشمس ، ام فى الظل . واذا وضعت القلة تحت الشمس ، ستزداد سرعة التبخر ، وفى نفس الوقت يزداد تدفق الحرارة. وعلى الارجح ، يكون من الافضل وضع القلل فى الظل ، وتعريضها الى رياح خفيفة .

ثلاجة بدون جليد

ان الثلاجة الكبيرة المعدة لحفظ الاطعمة ، وهى عبارة عن ثلاجة بدون جليد ، مبنيّة على اساس التبريد الناتج عن عملية التبخر . ان تركيب هذه الثلاجة بسيط للغاية ، حيث تتكون من صندوق خشبى (ويستحسن ان يكون من الحديد المطلى بالزنك) يحتوى على رفوف لوضع الاطعمة المراد تبريدها . ويوضع فى اعلى الصندوق وعاء طويل مملوء بالماء النقى البارد ، وقد غمر فيه احد طرفى قطعة من الخيش ، تمتد الى الاسفل بمحاذاة الجدار الخلفى للصندوق ، حتى ينتهى طرفها الثانى فى وعاء موضوع

تحت الرف السفلى . تشبع قطعة الخيش بالماء ، الذى يسرى فى داخلها باستمرار ، مثلما يسرى فى الفتيل ، وفى هذه الاثناء يتبخر الماء بصورة بطيئة ، ويؤدى بذلك الى تبريد كافة اقسام الصندوق - الثلاجة .

ويجب وضع مثل هذه الثلاجة فى مكان معتدل البرودة ، مع تبديل الماء البارد الموجود فيها ، مساء كل يوم ، لكى يتسنّى له الوقت ان يبرد جيدا خلال الليل . ويجب ان تكون الاوعية المحتوية على الماء والخيش المشبع به ، نظيفة جدا بطبيعة الحال .

ما هو مدى الحرارة الذى نستطيع تحمله

ان الانسان يستطيع تحمل الحرارة الى حد يزيد كثيرا عما يتوقعه عادة . ويستطيع سكان المناطق الحارة ، تحمل درجة حرارة تزيد كثيرا على درجة الحرارة ، التى يتحملها سكان المناطق المعتدلة بصعوبة . وفى استراليا الوسطى ، كثيرا ما تصل درجة الحرارة فى الظل الى ٤٦° مئوية ، حتى انها وصلت فى وقت ما الى ٥٥° مئوية فى الظل . وتصل درجة الحرارة فى مقصورات البواخر التى تجتاز البحر الاحمر فى طريقها الى الخليج العربى ، الى ٥٠° مئوية واكثر ، بالرغم من اشتغال اجهزة التهوية باستمرار .

ان اقصى درجات الحرارة التى عرفتها الطبيعة على سطح الكرة الارضية ، لم تزد على ٥٧° مئوية . وقد سجّلت درجة الحرارة هذه ، فى مكان يقع فى مدينة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الامريكية ، ويطلق عليه اسم « وادى الموت » . ولا تزيد درجة الحرارة فى اسيا الوسطى - من اكثر المناطق حرارة فى الاتحاد السوفييتى - على ٥٠° مئوية .

ان درجات الحرارة المشار اليها اعلاه ، قيست فى الظل . واوضح بهذه المناسبة ، سبب اهتمام علماء الارصاد الجوى ، بقياس درجة الحرارة فى الظل بالذات . ان هذا السبب يعود الى ان قياس درجة حرارة الهواء ، يتم بواسطة المحرار ، الذى يوضع فى الظل فقط . لاننا اذا وضعنا المحرار تحت اشعة الشمس ، فقد يؤدى ذلك الى تسخينه الى درجة تزيد كثيرا على درجة حرارة الهواء المحيط به ، ولا تكون درجة الحرارة التى يشير اليها ، هى درجة حرارة الهواء المحيط بالفعل . ولذلك ، يكون من العبث ان نتحدث

عن الجو الحار ، استنادا الى درجة الحرارة التى يسجلها المحرار الموضوع تحت اشعة الشمس .

وقد اجريت عدة تجارب لتعيين اقصى درجة حرارة ، يمكن ان يتحملها جسم الانسان . ثم ظهر انه عند التسخين التدريجى فى محيط من الهواء الجاف ، يستطيع الانسان تحمل درجة حرارة ، تزيد كثيرا على درجة حرارة غليان الماء (١٠٠° مئوية) ، حتى أنها تصل الى ١٦٠° مئوية ، كما اثبت ذلك ، العالمان الفيزيائيان الانكليزيان بلاجدن وجينترى ، اللذان قضيا – فى سبيل التجربة – ساعات كاملة ، فى داخل فرن ساخن من افران الخبز . ويقول العالم تندال بهذا الصدد :

« ان الانسان يستطيع البقاء بلا اذى ، فى غرفة حارة ، يمكن استخدام الهواء الموجود فيها لسلق البيض وقلى اللحم » .

بماذا تفسر قابلية التحمل هذه ؟ انها تفسر بان جسم الانسان فى الواقع ، لا يتقبل هذه الدرجة من الحرارة ، بل يحافظ على درجة حرارة ، قريبة من درجة حرارته الطبيعية . وهو يقاوم ارتفاع درجة حرارة الجو ، بالافراز الوفير للعرق . ان بتبخر العرق تمتص كمية كبيرة من الحرارة ، من طبقة الهواء الملاصقة للبشرة تماما ، الامر الذى يؤدى الى انخفاض درجة حرارته بمقدار كاف . والشرطان الوحيدان ، اللذان يجب توفرهما فى هذه الحالة ، هما عدم تلامس الجسم مباشرة مع مصدر الحرارة ، ووجود الهواء الجاف . ولهذا السبب ، يكون من السهل نوعا ما ، تحمل الحر فى آسيا الوسطى ، حيث تصل درجة الحرارة فى المعدل ، الى ٣٧° مئوية فما فوق ، فى الوقت الذى يصعب فيه على الانسان ، تحمل درجة حرارة قدرها ٢٤° مئوية ، فى مدينة لينينجراد . ويعود سبب ذلك بطبيعة الحال ، الى رطوبة الهواء فى لينينجراد ، وجفافه فى آسيا الوسطى ، حيث لا يسقط المطر الا نادرا جدا .

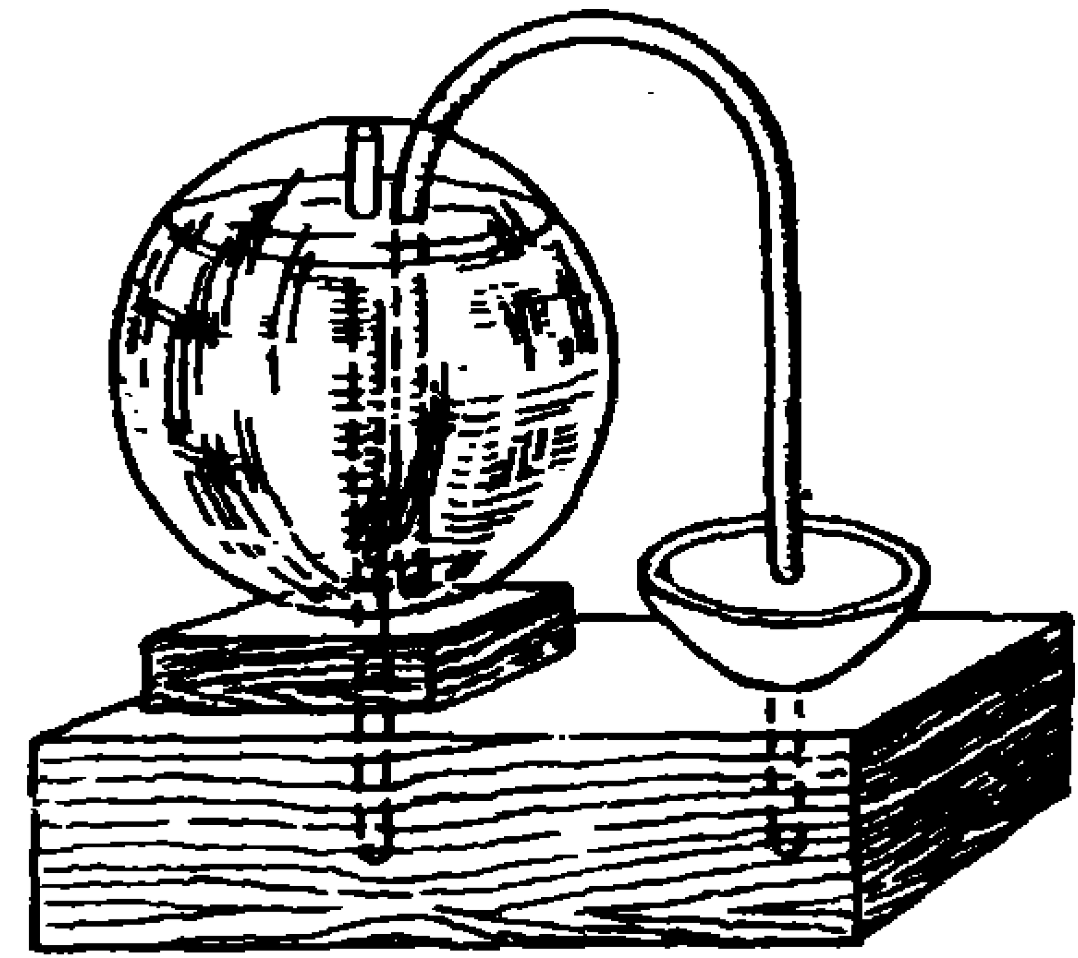
ترمومتر ام بارومتر ؟

توجد نكتة معروفة عن شخص ساذج ، امتنع عن الاستحمام ، لسبب غريب عبر عنه بقوله :

— عندما ادخلت البارومتر فى الحمام ، وجدته يشير الى وجود جو عاصف ، يجعل الاستحمام خطرا !

وعلى القارئ الا يفكر بانه يستطيع دائما ، ان يميز بين الترمومتر والبارومتر بسهولة . هناك بعض الترمومترات ، وبتعبير ادق ، ترموسكوبات ، يحق لنا ان نسمّيها بارومترات ، والعكس بالعكس . ومثال ذلك ، الترموسكوب القديم الذى ابتكره هيرون الاسكندرى (شكل ٨٣) . عندما تسخن اشعة الشمس الكرة الزجاجية ، يتمدد الهواء الموجود فى قسمها العلوى ويضغط على الماء ، فيدفعه الى داخل الانبوبة المنحنية ، ومنها الى الخارج . ويبدأ الماء بالخروج من فتحة الانبوبة على هيئة قطرات ، تنصب فى القمع ، وتنحدر منه الى الصندوق السفلى . اما عندما يكون الجو باردا ، فيحدث العكس، حيث تقل مرونة الهواء الموجود فى الكرة الزجاجية ، فيؤدى ضغط الهواء الخارجى الى دفع الماء الموجود فى الصندوق ، الى داخل الانبوبة العمودية ، ومنها الى داخل الكرة الزجاجية .

الا ان لهذا الجهاز حساسية تجاه تغيرات الضغط البارومترى : عندما يقل الضغط الخارجى ، فان الهواء الموجود فى داخل الكرة — الذى يحافظ على الضغط المرتفع السابق — يتمدد ويدفع قسما من الماء الى داخل الانبوبة ، ومنها الى القمع . وعند ارتفاع الضغط الخارجى يندفع قسم من الماء من الصندوق الى الكرة ، نتيجة للضغط الكبير من الخارج . ان كل درجة حرارة زائدة او ناقصة ، تؤدى تغيرا مماثلا فى حجم



شكل ٨٣ : الترموسكوب (المكشاف الحرارى) الذى اخترعه هيرون الاسكندرى .

الهواء الموجود فى داخل الكرة ، ويساوى $\frac{٧٦٠}{٢٧٣}$ ، اى حوالى ٢,٥ مم من الفرق فى ارتفاع عمود الزئبق البارومترى .

وفى موسكو ، تصل التقلبات البارومترية الى ٢٠ مم فما فوق . وهذا المقدار يناظر ٨° مئوية ، فى ترموسكوب هيرون الاسكندرى – اى يمكن بسهولة ، اعتبار مثل هذا الانخفاض فى الضغط الجوى ، بمثابة ارتفاع فى درجة الحرارة ، مقداره ٨° مئوية .

وهكذا نرى ان الترموسكوب القديم ، لا يختلف بشىء عن الباروسكوب . وقد بيعت فى الاسواق ذات مرة ، بارومترات مائية ، كانت عبارة عن ترمومترات ، بنفس الدرجة المماثلة ، ولكن لم يشك احد من المشترين فى ذلك ، حتى ان الشك لم يساور مخترع الترمومترات بالذات ، حسبما يظهر .

ما هو الغرض من استخدام زجاجة المصابيح ؟

ان القليل من الناس فقط ، يعرفون ذلك الطريق الطويل الذى مرت به زجاجة المصباح ، قبل ان تأخذ شكلها العصرى الحديث . لقد استخدم الناس الشعلة لاجل الاضاءة ، على مدى عدة آلاف من السنين ، دون اللجوء الى الاستفادة من الزجاج فى هذا المجال . ثم جاء العالم العبقرى ليوناردو دافينشى (١٤٥٢ – ١٥١٩) ، وقام بهذا العمل المهم لتطوير المصباح . ولكن ليوناردو لم يحط الشعلة باسطوانة زجاجية ، بل باسطوانة معدنية ، وقد مرت على ذلك ثلاثة قرون من الزمن ، قبل ان يتوصل الانسان الى استبدال الاسطوانة المعدنية باسطوانة من الزجاج الشفاف . وكما يتضح لنا ، فان زجاجة المصباح هى عبارة عن اختراع عملت على ايجاده عشرات الاجيال من البشر .

ما هو الغرض من استخدام زجاجة المصباح ؟ اننى اشك فى ان جميع القراء ، يستطيعون ان يجيبوا على هذا السؤال الطبيعى ، اجابة صحيحة . ان حماية الشعلة من الريح ، هى الدور الثانوى للزجاجة ، اما الدور الرئيسى لها فيتمثل فى زيادة تألق

الشعلة وفى تعجيل عملية الاحتراق . ان دور الزجاجة هو نفس دور مدخنة الفرن او المصنع ، المتمثل فى تقوية تيار الهواء المندفع نحو الشعلة ، مما يؤدى الى زيادة سحب الهواء .

وسنشرح هذه العملية الآن . ان الشعلة تسخن عمود الهواء الموجود داخل الزجاجة ، اسرع بكثير من تسخينها للهواء المحيط بالمصباح . وعندما يسخن الهواء ويصبح نتيجة لذلك اخف مما هو عليه ، وبموجب قانون ارخميدس ، يطرد الى الاعلى من قبل الهواء الثقيل البارد ، الذى يدخل من الاسفل من خلال الفتحات الموجودة فى قاعدة فتيلة المصباح .

وبهذا الشكل ، يتكون تيار دائم من الهواء ، يتجه من الاسفل الى الاعلى ، ويعمل باستمرار على سحب نواتج الاحتراق الى خارج الزجاجة ، وادخال الهواء النقى اليها . وبزيادة ارتفاع الزجاجة ، يزداد الفرق بين وزنى عمودى الهواء الساخن والبارد ، وتزداد بذلك شدة اندفاع تيار الهواء النقى ، وبالتالى تزداد سرعة الاحتراق . وهذا هو نفس العامل الذى يفسر لنا سبب انشاء المداخن العالية جدا .

ومما يلفت النظر ، ان ليوناردو كان قد ادرك هذه الظاهرة بوضوح ، حيث نجد فى مخطوطاته العلمية ، الملاحظة التالية : « يتكون حول النار اينما وجد ، تيار من الهواء ، يغذيها ويزيد من اشتعالها » .

لماذا لا تنطفىء الشعلة من تلقائها ؟

اذا فكرنا مليًا فى عملية الاحتراق ، سيتبادر الى اذهاننا السؤال التالى ، بصورة لا ارادية : لماذا لا تنطفئ الشعلة من تلقائها ؟ ان نواتج الاحتراق تتكون من غاز ثانى اوكسيد الكربون وبخار الماء ، وهما لا يحترقان ولا يساعدان على الاحتراق . اذن يجب ان تحاط الشعلة فى اللحظة الاولى لاحتراقها ، بمواد لا تحترق ، تعرقل وصول تيار الهواء الى الشعلة . ولما كان استمرار الاحتراق بدون هواء ، يعتبر امرا مستحيلا ، اذن يجب ان تنطفئ الشعلة .

ولكن لماذا لا يحدث ذلك ؟ ولماذا يستمر الاحتراق الى ان ينتهى احتياطى الوقود باجمعه ؟ ان هذا يعود الى شيء واحد فقط ، وهو أن الغازا ت تتمدد بالتسخين ، وبالتالى تصبح اخف مما كانت عليه قبل تسخينها . وبفضل ذلك وحده ، لا تبقى نواتج الاحتراق الساخنة فى المحل الذى تكونت فيه ، بجوار الشعلة مباشرة ، بل تطرد فى الحال الى الاعلى من قبل الهواء النقى . ولو كان قانون ارخميدس لا ينطبق على الغازات (او لولا وجود الجاذبية) ، لاحترقت كل شعلة لوهلة قصيرة ، ثم انطفأت من تلقائها .

ويمكن بسهولة ، التأكد من التأثير الماحق الذى تحدثه نواتج الاحتراق بالنسبة للشعلة . وكثيرا ما يلجأ القارئ الى الاستفادة من هذا التأثير ، عندما يريد اطفاء شعلة المصباح ، دون ان يلتفت الى ذلك . كيف نطفئ شعلة مصباح الغاز؟ ننفخ فيها من الاعلى ، اى نجعل نواتج الاحتراق تهبط الى الاسفل نحو الشعلة ، فتنطفئ من تلقائها ، بعد ان نمنع تيار الهواء من الوصول اليها بحرية .

الفصل الذى لم يفكر جول فيرن فى كتابته

حدثنا جول فيرن بالتفصيل ، عن ابطاله الثلاثة الشجعان ، وعن كيفية قضائهم الوقت فى داخل القذيفة التى انطلقت بهم نحو القمر . ولكنه لم يحدثنا عن كيفية قيام ميشيل ارذان بمهمة الطاهى ، فى هذه الحالة غير الطبيعية . ربما تصور مؤلف الرواية ، ان عملية الطهى داخل القذيفة المنطلقة ، هى من الامور التى لا تستحق الذكر . اذا كان الامر كذلك ، فقد كان جول فيرن على خطأ ، ذلك لان كافة الاشياء الموجودة فى داخل القذيفة المنطلقة ، تصبح عديمة الوزن *. لقد غابت هذه الحالة عن ذهن جول فيرن . واعتقد ان القارئ يتفق معى فى ان الطهى فى مطبخ عديم الوزن ، يمثل مشهدا جديرا بالوصف حقا ، ولا يسعنا الا ان نأسف لأن مؤلف رواية « رحلة

* ان هذه الحالة الطريفة ، مشروحة بالتفصيل فى الكتاب الاول من « الفيزياء المسلية » .

الى القمر » لم يتطرق الى هذا الموضوع . وسأحاول بمقدار استطاعتى ان اسد هذا الفراغ الموجود فى رواية جول فيرن ، وذلك بالتطرق الى هذا الموضوع ، لكى اعطى للقراء فكرة بسيطة عن مدى التأثير الذى كان سيحدثه هذا الموضوع ، لو تناوله جول فيرن بقلمه بالذات .

ولا بد للقارئ عند مطالعة هذا الموضوع ، ان يتذكر دائما بان الجاذبية داخل القذيفة معدومة ، كما ذكرنا سابقا ، وبان كافة الاشياء الموجودة داخلها ، عديمة الوزن .

تناول طعام الفطور فى مطبخ عديم الوزن

قال ميشيل اردان ، مخاطبا مرافقيه فى الرحلة الكونية :

— ايها الاصدقاء ، اننا لحد الآن لم نتناول طعام الفطور . اذا كنا قد فقدنا الوزن ونحن فى داخل القذيفة ، فهذا لا يعنى اننا قد فقدنا الشهية مطلقا . اننى ساعد لكم طعام فطور عديم الوزن ، سيتكون بلا شك من اخف اصناف الطعام فى العالم على الاطلاق .

وبدون انتظار جواب الاصدقاء ، بدأ اردان فى اعداد الطعام . وعندما كان يحاول رفع سدادة دورق الماء الكبير تمتم قائلا :

— يبدو ان دورق الماء فارغ ، ولكن منظره هذا ، لن يخدعنى ، لاننى اعرف السبب الذى جعله يبدو خفيفا بهذا الشكل . . . وها انذا قد رفعت السدادة ، فليسمح الدورق بسكب الماء العديم الوزن فى القدر !

وامال دورق الماء الى مختلف الاتجاهات ، ولكن الماء مع ذلك لم ينسكب منه .

واتى نيقولا لمساعدته وهو يقول :

— لا تتعب نفسك يا صديقى اردان ، يجب ان تفهم بان الماء الموجود فى ظروف انعدام الجاذبية ، كما هى الحالة فى قذيفتنا هذه ، لن ينسكب من الدورق . وعليك ان تصبه برج الدورق ، كما تصب الشراب الكثيف .

ولم يطل اردان التفكير ، واخذ يضرب قاعدة الدورق المقلوب ، براحة يده عدة ضربات . وحدثت مفاجأة جديدة . اذ تكونت عند عنق الدورق فى الحال ، كرة منتفخة من الماء بحجم قبضة اليد . وقال اردان بدهشة :

— ماذا حدث للماء ؟ اننى اعترف بان هذا شئ مدهش حقا ! ارجوكم يا اصدقائى العلماء ان تفسروا لى سبب هذه الظاهرة .

— انها قطرة يا عزيزى اردان ، قطرة ماء عادية . ان القطرات يمكن ان تكون كبيرة جدا ، فى العالم الذى تنعدم فيه الجاذبية . . . وتذكر بان السوائل لا تأخذ شكل الاناء الذى توضع فيه ، ولا تتدفق على هيئة سيل ، الا بتأثير الجاذبية فقط . اما هنا ، فلا وجود للجاذبية ، وقد ترك السائل لتأثير قواه الذرية الداخلية ، مما جعله يأخذ شكلا كرويا ، كشكل قطرة الزيت فى تجربة بلاتو المشهورة . واجاب اردان بانفعال :

— ان تجربة بلاتو لا تهمنى مطلقا ! يجب ان اجعل الماء يغلى لاطهى الحساء ، واقسم لكم بان اية قوى ذرية ، لن تمنعنى من القيام بذلك .

وبدأ بنفض الماء بعنف فوق القدر التى تحوم فى الهواء ، ولكن كل شئ كان ضده على ما يظهر . ان قطرات الماء الكبيرة ، زحفت الى اعلى القدر بمجرد ملامستها لها . ولم ينته الامر عند هذا الحد ، بل جرى الماء من جدران القدر الداخلية ، منتقلا الى الجدران الخارجية وسرعان ما اصبحت القدر مغلفة بطبقة سميكة من الماء . ولم تكن هناك اية امكانية لغلى الماء بهذا الشكل . وقال نيقولا مخاطبا اردان الحانق بصوت هادئ :

— ان هذه تجربة طريفة ، تثبت مدى عظمة قوة التماسك . لا تقلق يا اردان ، فالامر هو عبارة عن عملية تبلل الاجسام الصلبة بالسوائل ، الا ان الجاذبية فى هذه الحالة ، لا تعرقل تطور هذه العملية الى اقصى حد .

واعترض اردان على ذلك قائلا :

— مع مزيد الاسف ، ان الجاذبية لا تعرقل هذه العملية هنا ! ولكن ان كانت هذه عملية تبلل او غيرها من العمليات الاخرى ، فهذا لا يهمنى . لاننى لا بد وان

اجعل الماء يغلي في داخل القدر وليس من حواليها.يا لها من حالة عجيبة ! ان اى طاه في العالم لن يوافق على طهي الحساء في مثل هذه الظروف !

وتدخل باربيكين في الحديث ، وقال بلهجة مهدئة :

— انك تستطيع عرقلة عملية التبلل بسهولة ، اذا كانت تزعجك الى هذا الحد . تذكر بان الماء لا يبلل الاجسام التي تدهن ولو بطبقة رقيقة من الشحم . ادهن القدر من الخارج بطبقة من الشحم ، وسترى بان الماء سيبقى في داخلها .

وهنا ، تهلل وجه اردان من الفرح ، وقال وهو ينفذ نصيحة صديقه :

— مرحى ! هذا هو العلم الحقيقي . ثم بدأ بعد ذلك بغلي الماء على شعلة مصباح الغاز . ان كل شئ يقف بقوة ضد اردان ويعاكسه ، حتى فتيلة مصباح الغاز بدورها ، بدأت تعاكسه . اذ اشتعلت بلهب ضئيل لمدة نصف دقيقة ثم انطفأت لسبب مجهول .

وحاول اردان بكل صبر وأناة ، ان يجعل الفتيلة تعاود الاشتعال ، ولكن جهوده كلها ذهبت ادراج الرياح ، حيث تعذر اشعالها تماما . واستغاث اردان اليائس باصدقائه متسائلا :

— باربيكين ، نيقولا ! يا ترى اليست هناك اية وسيلة لاشعال فتيلة المصباح العنيدة ، طبقا لما تفرضه عليها قوانين الفيزياء ، وانظمة شركات الغاز ؟

وهنا انبرى له نيقولا موضحا :

— ولكن لا يوجد هنا اى شئ غريب او غير متوقع ان هذه الفتيلة تشتعل كما يراد منها بالضبط ، طبقا لقوانين الفيزياء . اما فيما يتعلق بشركات الغاز ، فاعتقد انها كانت ستفلس تماما لولا وجود الجاذبية . انك تعلم بانه عند الاحتراق ، يتكون غاز ثاني اوكسيد الكربون وبخار الماء ، وهما من الغازات التي لا تحترق . وعادة لا تبقى نواتج الاحتراق هذه ، بقرب الشعلة بالذات ، لان تيار الهواء النقي ، يطردها الى الاعلى لانها اخف منه نتيجة لسخونتها . ولكن هنا لا توجد جاذبية . لذا ، فان نواتج الاحتراق هذه تبقى في اماكن نشوئها ، وتحيط الشعلة بطبقة من الغازات التي لا تحترق ، وتمنع وصول الهواء النقي اليها . ولهذا السبب ، فان الفتيلة هنا تشتعل

بضآلة ثم تنطفئ بسرعة . وعلى هذا الاساس يبنى تأثير مطافئ الحريق ، حيث يحاط اللهب بغازات لا تحترق .

وقاطعه اردان قائلا :

— افهم من قولك هذا ، انه لولا وجود الجاذبية الارضية ، لما كنا بحاجة الى فرق اطفاء الحريق على سطح الارض ، لان الحريق سينطفئ من نفسه ، حيث يختنق بانفاسه الخاصة .

— هذا هو عين الصواب . اما الآن ، فلطهى الطعام ، اشعل الفتيلة مرة ثانية وانفخ الشعلة . وارجو ان نتمكن من خلق جاذبية اصطناعية ، وجعل الفتيلة تشتعل كما يحدث على سطح الارض .

وهذا ما تمّ بالضبط حيث اشعل اردان الفتيلة مرة ثانية وبدأ بطهى الطعام ، وهو يتتبع بشماتة ، كيفية قيام نيقولا وباربيكين بنفخ الشعلة وترويحها على التوالى ، لا يصال الهواء النقى اليها بصورة مستمرة . اما اردان ، فقد كان يفكر فى قرارة نفسه ، بان اصدقاءه وعلمهم ، هم المسئولون عن كل هذه المشاكل التى تواجهه .

وهذرم اردان قائلا :

انكما تقومان الى حد ما ، بدور مدخنة المصنع ، وذلك بالابقاء على الجاذبية . اننى ارثى لحالكم يا اصدقائى العلماء ، ولكننا اذا اردنا ان نتناول طعام فطور ساخن ، يجب ان نخضع لتعاليم الفيزياء .

وعلى الرغم من هذا ، فقد مضت على هذه العملية ربع ساعة ، ونصف ساعة ، وساعة ولم يغل الماء الموجود فى القدر ، ولم يظهر عليه انه سيغلى .

— يجب عليك التسلح بالصبر يا عزيزى اردان . انك تعلم بان الماء العادى الذى له وزن يسخن بسرعة — لماذا ؟ لسبب واحد فقط ، هو اختلاط طبقاته المختلفة ، وذلك بقيام الطبقات الباردة العليا بازاحة الطبقات السفلى الساخنة ، لانها اخف منها . ونتيجة لذلك ، ترتفع درجة حرارة السائل باجمعه بسرعة . هل اتفق لك مرة ان سخنت الماء من الاعلى وليس من الاسفل ؟ فى هذه الحالة لن تختلط طبقات الماء المختلفة ،

لان الطبقات العليا الساخنة ، سوف تبقى فى محلها ولا تتحرك . ان موصلية الماء للحرارة ضئيلة جدا ، اذ يمكن تسخين طبقات الماء العليا الى درجة الغليان ، بينما نجد فى طبقاته السفلى قطعا من الجليد غير الذائب . اما فى عالمنا هذا ، الذى ينعدم فيه الوزن ، فليست هناك اية اهمية للجهة التى يسخن منها الماء ، لان طبقات الماء المختلفة لن تختلط مع بعضها فى داخل القدر ، ويجب ان يسخن الماء ببطء شديد . واذا اردت الاسراع من عملية التسخين ، فيجب عليك ان تقوم بتحريك الماء باستمرار .

وحذر نيقولا اردان طالبا منه عدم تسخين الماء الى ١٠٠° مئوية ، والاكتفاء بتسخينه الى درجة تقل عن ذلك بقليل . وعند تسخين الماء الى ١٠٠° مئوية ، يتكون بخار كثير ، يكون له فى هذه الحالة وزن نوعى ، يساوى الوزن النوعى للماء (وكلاهما يساوى صفرا) ، وسوف يختلط هذا البخار مع الماء ، وتنتج عن اختلاطهما رغوة متجانسة .

وقد حدثت مفاجأة مزعجة للحمص . فعندما فتح اردان كيس الحمص ونفضه بهدوء ، تطايرت حبات الحمص فى الهواء واخذت تحوم فى جو الحجرة بلا توقف ، مصطدمة بالجدران ومرتدة عنها ، وهكذا . وكانت حبات الحمص « الطائرة » ، على وشك ان تسبب للرحالة كارثة مروعة ، فقد سحب نيقولا اثناء تنفسه احدى هذه الحبات الى داخل حنجرته بطريق الصدفة ، وسعل بشدة بحيث اصبح على وشك الاختناق . وللتخلص من هذا الخطر وتنقية الجو ، بدأ اصدقاؤنا العمل بمواظبة على اقتناص حبات الحمص الطائرة ، بنفس الشبكة التى اعدها اردان مسبقا ، لاجل « اقتناص مجموعة من الفراشات القمرية » .

ولم تكن عملية الطهى سهلة فى مثل هذه الظروف . وقد كان اردان على حق ، عندما اكد لزملائه بان امهر الطهاة يعجزون عن الطهى هنا . وقد حدثت مضايقات كثيرة عند قلى قطع اللحم . اذ كان لا بد من تثبيت تلك القطع باستمرار بواسطة الشوكة ، والا لكانت ابخرة السمن المرنة ، المتكونة تحت قطع اللحم ، ستدفع هذه القطع الى الاعلى ، وتبعدها عن المقلاة وهى نصف مقلية — هذا اذا جاز لنا استخدام كلمة الاعلى ، حيث ليس هناك « اعلى » ولا « اسفل » .

وقد بدت عملية تناول الطعام ، بمظهر غريب فى هذا العالم العديم الجاذبية . فقد تعلق الاصدقاء فى الهواء باوضاع مختلفة للغاية ، بدون ان يفقدوا حيويتهم ، وكانت رؤوسهم تصطدم مع بعضها فى كل دقيقة . ولم يتمكنوا من الجلوس بطبيعة الحال . وليست هناك اية فائدة ترجى من وجود الكراسى والارائك والمقاعد الطويلة وغيرها ، فى عالم تنعدم فيه الجاذبية . وفى الحقيقة ، لم تكن هناك اية حاجة لمنضدة الطعام ، لولا رغبة اردان الملحة فى تناول طعام الفطور « على المائدة » .

وكان من الصعب طهى الحساء ، ولكن تناوله كان اصعب من ذلك . وتكمن الصعوبة الاولى ، فى عدم امكانية صب الحساء العديم الوزن فى الاطباق . وعندما حاول اردان ان يفعل ذلك ، كان على وشك التضحية بجهوده التى بذلها فى الصباح ، ناسيا بان الحساء عديم الوزن ، وضرب بيده قاعدة القدر المقلوب بحنق ، ليطرد منها الحساء العنيد . واخيرا ، خرجت من القدر قطرة كروية كبيرة جدا ، وهى عبارة عن حساء مكور . وكان على اردان ان يصبح مثل البهلوان ، لكى يقبض على الحساء الذى حضره بصعوبة بالغة ، ويعيده الى القدر مرة ثانية .

وقد ذهبت محاولة استخدام الملاعق ، ادراج الرياح ، حيث بلل الحساء الملعقة باجمعها حتى الاصابع ، وتدلى منها مثل حجاب صلب . ودهنوا الملاعق بالسمن لكى يمنعوا حدوث التبلل ، ولكن هذه العملية لم تفد شيئا ، اذ تكور الحساء على الملعقة ، ولم تكن هناك اية امكانية لا يصال هذه الحبة العديمة الوزن ، الى الفم بسلام .

وفى نهاية الامر ، توصل نيقولا الى حل لهذه المشكلة ، حيث جهز انابيب من الورق المشمع ، استطاعوا بواسطتها ان يتناولوا الحساء بسحبه الى الفم بطريقة المص . وبهذه الطريقة ، كان الاصدقاء يشربون الماء والخمر وبقية السوائل بصورة عامة (لقد كتب الى الكثيرون من قراء الطبعات السابقة لهذا الكتاب ، يعبرون عن دهشتهم لما قيل حول امكانية شرب السوائل ، فى الوسط الذى تنعدم فيه الجاذبية — حتى بالطريقة التى اشرت اليها الآن ؛ وذلك لان الهواء الموجود فى داخل القذيفة المنطلقة ، يكون عديم الوزن ، وبالتالى فانه لا يحدث اى ضغط ، وعند عدم وجود الضغط ،

لا يمكن الشرب بامتصاص السائل الى داخل الجسم . وقد ادلى بعض النقاد بارائهم حول هذا الاعتراض بطريقة غريبة ، ونشرت تلك الاراء فى الصحف) .

وبهذه المناسبة، من الواضح جدا ، ان فقدان الهواء لوزنه فى مثل هذه الظروف ، ليس له اى ارتباط بعدم وجود الضغط ، لان ضغط الهواء الموجود فى فراغ مسدود ، لا ينتج عن وزن الهواء ، بل عن محاولة الهواء – كغاز – التمدد الى اقصى حد. اما فى الفراغ المفتوح على سطح الارض ، فتلعب الجاذبية الارضية ، دور الجدران التى تحول دون هذا التمدد . ان هذه العلاقة المألوفة ، هى التى اوقعت النقاد فى الضلال) .

ان مسألة تناول الطعام فى الفضاء الكونى ، اصبحت مادة للدراسة الجدّية عند الاعداد لرحلات كونية طويلة الامد . وقد تم صنع عجائن خاصة للتغذية ، موضوعة داخل انابيب خاصة ، مثل معجون الاسنان . اما الماء الموجود على متن السفن الفضائية ، فيوضع فى خزانات خاصة ، يشرب منها رجال الفضاء بواسطة خراطيم لينة . وفيما يتعلق بالطعام الصلب ، مثل الخبز واللحم ، فانها تعبأ على هيئة قطع صغيرة ، يمكن وضعها فى الفم مباشرة .

لماذا يطفىء الماء النار ؟

ان اجابات القراء على هذا السؤال البسيط جدا ، لا تكون صحيحة دائما . وارجو الا يؤاخذنى القراء ، اذا شرحت لهم باختصار تأثير الماء على النار .

اولا عندما يلمس الماء جسما ملتهبا ، فانه يتحول الى بخار ويأخذ بذلك كمية كبيرة من حرارة الجسم الملتهب . ولتحويل الماء المغلى الى بخار ، نحتاج الى كمية من الحرارة ، تزيد على خمسة اضعاف الحرارة اللازمة لتسخين نفس الكمية من الماء البارد الى ١٠٠° مئوية .

ثانيا . ان حجم الابخرة المتكونة اثناء ذلك ، يزيد على حجم الماء الناتجة عنه بمئات المرات . وعندما تحيط الابخرة بالجسم الملتهب ، تمنع وصول الهواء اليه . وبدون هواء لا يحدث احتراق . ولزيادة قوة اطفاء الماء للنار ، يضاف الى الماء احيانا

قليل من البارود ! قد يبدو هذا التصرف غريبا ، ولكنه معقول تماما ، ذلك لان البارود يحترق بسرعة ، ويحرر كمية كبيرة من الغازات غير المحترقة ، التى تحيط بالجسم الملتهب ، وتعرقل احتراقه فيما بعد .

اطفاء النار بالنار

ربما سمع القراء بان احسن وسيلة ــ واحيانا الوسيلة الوحيدة ــ لاطفاء ومكافحة حرائق الغابات او السهول ، هى حرق الغابة او السهل من الجهة المقابلة . وفى هذه الحالة ، سيزحف اللهب الجديد لمقابلة الحريق الهائل الاول . ويلتهم فى طريقه المواد القابلة للاحتراق ، وبذلك يحرم النار من الوقود . وحالما يلتقى الحريقان ، يخمد كلا جدارى النار فى الحال ، كما لو كان كل منهما قد التهم الآخر .

وربما يكون القراء قد طالعوا كتاب « البرية » لمؤلفه كوبر ، ووجدوا فيه وصفا لكيفية استخدام هذه الطريقة ، لاطفاء الحرائق التى تنشب فى السهول الامريكية . ولا يمكن نسيان تلك اللحظة الدراماتيكية ، عندما قام الصياد الشيخ ، بانقاذ حياة السياح من موت محقق ، عندما جاصرتهم النيران فى السهل . ونقدم للقراء هذا المقتطف من كتاب « البرية » :

« وبدا الشيخ فجأة ، وكأنه قد صمم على القيام بعمل ما ، ثم قال :

ــ لقد حانت لحظة العمل .

وهتف ميدلتون مخاطبا الشيخ :

ــ انك تذكرت هذا فجأة بعد فوات الاوان ، ايها الشيخ البائس . ان النار تبعد عنا بمسافة ربع ميل ، والريح تقربها منا بسرعة مذهلة !

ــ النار ! اننى لا اخاف النار كثيرا . هلموا ايها الشجعان ، واقلعوا هذا العشب اليابس من هنا ، حتى تصبح الارض خالية منه تماما .

وخلال فترة قصيرة جدا من الزمن ، تم قلع العشب من مساحة من الارض يبلغ قطرها عشرين قدما ، واصبحت نظيفة تماما . ودعا الشيخ النساء ، الى الوقوف عند



شكل ٨٤ : اطفاء حريق البرية بواسطة النار .

احدى حافات هذه المساحة الصغيرة من الارض ، وطلب منهن ان يغطين ثيابهن الخفيفة بالملاحف ، لحمايتها من النار ، التي يمكن ان تلتهمها . وبعد اخذ الاحتياطات اللازمة ، اتجه الشيخ الى الحافة المقابلة ، حيث كانت النار تحيط السياج بطوق كبير ، وتناول حفنة من العشب اليابس جدا ، واشعل فيه النار . واندلعت النار حالا في هذه المادة السريعة الالتهاب . وعندئذ قام الشيخ برمي هذه الشعلة في وسط الخميلة العالية ، وتراجع الى مركز الحلقة ، واخذ ينتظر بصبر نتيجة عمله .

وانقضت النار المهلكة على العشب الجديد لكي تلتهمه بشراهة ، وفي لحظة واحدة مدت اليه السنتها المحرقة .

وقال الشيخ :

ــ سترون الآن كيف يقضي النار على النار .

وهتف ميدلتون بصوت علته الدهشة :

ــ ترى ، الا يشكل هذا خطرا علينا ، ويعمل على تقريب العدو منا ، بدلا من ابعاده ؟

وازدادت النار اشتعالا ، واخذت تنتشر فى جهات ثلاث ، فى الوقت الذى همدت فيه عند الجهة الرابعة ، لعدم كفاية العشب . وكلما ازدادت النار اشتعالا واشتد هياجها ، فانها اتت على كل ما وقف فى طريقها ، وتركت وراءها ارضا سوداء يتصاعد منها الدخان ، خالية من العشب ، اكثر مما لو كانت المناجل قد حصدت كل العشب الموجود فيها من جذوره . وكانت حالة الرحالة الهاربين ستزداد خطورة ، لو لم تتوسع رقعة الارض التى نظفوها من العشب ، كلما احاطت بها النار من بقية الجهات الاخرى . وبعد عدة دقائق ، بدأت النار بالتراجع من جميع الجهات ، تاركة الرحالة بعد ان لفّتهم بسحابة من الدخان ، ولكنهم اصبحوا فى مأمن تام من السنة النار ، التى ما زالت تندفع الى الامام بشدة .

وقد تطلع المشاهدون الى هذه الطريقة البسيطة ، التى استخدمها الشيخ ، بنفس الدهشة التى تطلع بها ندماء الملك فرناند الى طريقة كولومبس لايقاف البيضة على رأسها » . الا ان طريقة اطفاء حرائق الغابات والسهول هذه ، ليست بسيطة جدا كما يبدو لاول وهلة . ان استخدام النار المضادة لاطفاء الحرائق ، يجب ان يتم على يد شخص خبير فقط ، والا فقد تصبح الكارثة اعظم هولا .

ويستطيع القارئ ان يدرك مدى الحذاقة اللازمة لهذا الغرض ، اذا طرح على نفسه السؤال التالى : لماذا اندفعت النار التى اشعلها الشيخ ، لملاقاة الحريق ، ولم تندفع فى الاتجاه المعاكس ؟ ان الريح هبت من ناحية الحريق ، وساقت النار نحو الرحالة !

ويظهر من ذلك ان النار التى اشعلها الشيخ ، وجب الا تندفع باتجاه الحريق الكبير ، ولكن الى الوراء نحو السهل . ولو حدث هذا الامر ، لاحيط الرحالة بطوق من نار ، وقضوا نحبهم بالتأكيد .

اين يكمن سر ما قام به الشيخ ؟ ان السر يكمن فى معرفة احد قوانين الفيزياء البسيطة . فعلى الرغم من هبوب الريح من ناحية الحريق ، متجهة نحو الرحالة ، ولكن فى الامام ، بالقرب من النار ، يجب ان ينشأ تيار هواء معاكس ، يندفع لملاقاة

الحريق . وفى حقيقة الامر ، بعد ان يسخن الهواء الموجود فوق النار الهائلة ، يصبح اخف مما هو عليه ، ويطرد الى الاعلى من قبل الهواء البارد المندفع من كافة جهات السهل ، البعيدة عن الحريق . ولهذا السبب ينشأ بالقرب من حدود النار ، تيار هواء يندفع نحو اللهب . ويجب اشعال النار المضادة ، فى تلك اللحظة التى يقترب فيها الحريق الى حد ، نحس عنده بوجود تيار الهواء المذكور . وهذا ما يفسر لنا سبب عدم قيام الشيخ باشعال النار مبكرا ، وانتظاره اللحظة المناسبة بهدوء . ولو قام الشيخ باشعال النار فى العشب ، قبل الوقت المناسب بقليل ، حيث لاوجود لتيار الهواء المضاد بعد ، لانتشرت النار فى الاتجاه المعاكس ، وضيقت الخناق على الرحالة واهلكتهم . كما ان القيام بهذه العملية فى وقت متأخر قد لا يقل خطورة عن القيام بها فى وقت مبكر . ذلك لان النار فى هذه الحالة كانت ستقترب جدا من الرحالة .

هل يمكن ان نغلى الماء فى الماء المغلى ؟

ليأخذ القارئ زجاجة صغيرة او قنينة ، ويصب فيها ماء ، ثم يضعها فى داخل قدر موضوع على النار ومملوء بالماء النقى ، بحيث لا تلامس تلك الزجاجة او القنينة قعر القدر . ويجب على القارئ والحالة هذه ، ان يعلق الزجاجة بانشوطة سلكية . وعندما يغلى الماء الموجود فى القدر ، سيتوقع القارئ بان الماء الموجود فى داخل الزجاجة ، سيغلى هو الآخر بعد قليل . ولكن القارئ سوف لن يرى ذلك مهما طال انتظاره ، لان الماء الذى فى داخل القنينة سيصبح حارا جدا ، ولكنه لن يغلى . وبهذا يبدو ان الماء المغلى ليس على درجة كافية من الحرارة ، ليجعل الماء الآخر يغلى .

ان هذه النتيجة تبدو وكأنها غير متوقعة ، بينما كان من الواجب ان نتوقعها . ولكى نجعل الماء يغلى ، يجب الا نكتفى بتسخينه الى ١٠٠° مئوية فقط ، بل يجب تزويده بكمية اخرى كبيرة من الحرارة ، لتحويل الماء الى حالة اخرى من حالاته الدوريّة ، وهى حالة البخار بالذات .

ان الماء النقى يغلى عند ١٠٠° مئوية،ولا ترتفع درجة حرارته الى اكثر من هذا

الحد فى الظروف العادية ، مهما زدنا من تسخينه . وهذا يعنى ان درجة حرارة مصدر الحرارة ، الذى سخنا بواسطته الماء الموجود فى القنينة ، تبلغ ١٠٠° مئوية ؛ ويمكنه تسخين الماء الموجود فى داخل القنينة الى ١٠٠° مئوية فقط . وعندما تتساوى درجتى الحرارة ، يتوقف انتقال الحرارة من الماء الموجود فى القدر ، الى القنينة . وهكذا نرى انه بتسخين الماء الموجود فى القنينة بهذه الطريقة ، فاننا لا يمكن ان نزوده بكمية الحرارة اللازمة لتحويل الماء الى بخار (لتحويل كل جرام واحد من الماء المسخن الى ١٠٠° مئوية الى بخار ،نحتاج الى كمية اخرى من الحرارة تزيد على ٥٠٠ سعر حرارى) .

وقد يتبادر الى ذهن القارئ السؤال التالى : ما الفرق بين الماء الموجود فى القنينة ، والماء الموجود فى القدر ؟ ان الماء الموجود فى القنينة ، هو نفس الماء الموجود فى القدر ، ولكنه منفصل عن الاخير بواسطة جدران القنينة . اما لماذا لا يحدث له نفس الشئ الذى يحدث للماء الباقى ، فسبب ذلك هو ان جدران القنينة تمنع الماء الموجود فى داخلها ، من الاشتراك فى تلك التيارات التى تحرك الماء الموجود فى القدر باجمعه . ان كل دقيقة من دقائق الماء الموجود فى القدر ، يمكن ان تلامس القعر الحامى مباشرة ، اما دقائق الماء الموجود فى داخل القنينة ، فيمكن ان تلامس الماء المغلى فقط .

وهكذا نرى انه لا يمكن غلى الماء ، بواسطة الماء المغلى النقى وحده . ولكن ما ان نضيف الى ماء القدر قليلا من الملح ، حتى نرى بان الامر قد تغير تماما . ان الماء المالح لا يغلى عند درجة ١٠٠° مئوية ، بل اكثر من ذلك بقليل ، وهكذا يمكنه بدوره ، ان يجعل الماء النقى يغلى فى داخل القنينة الزجاجية .

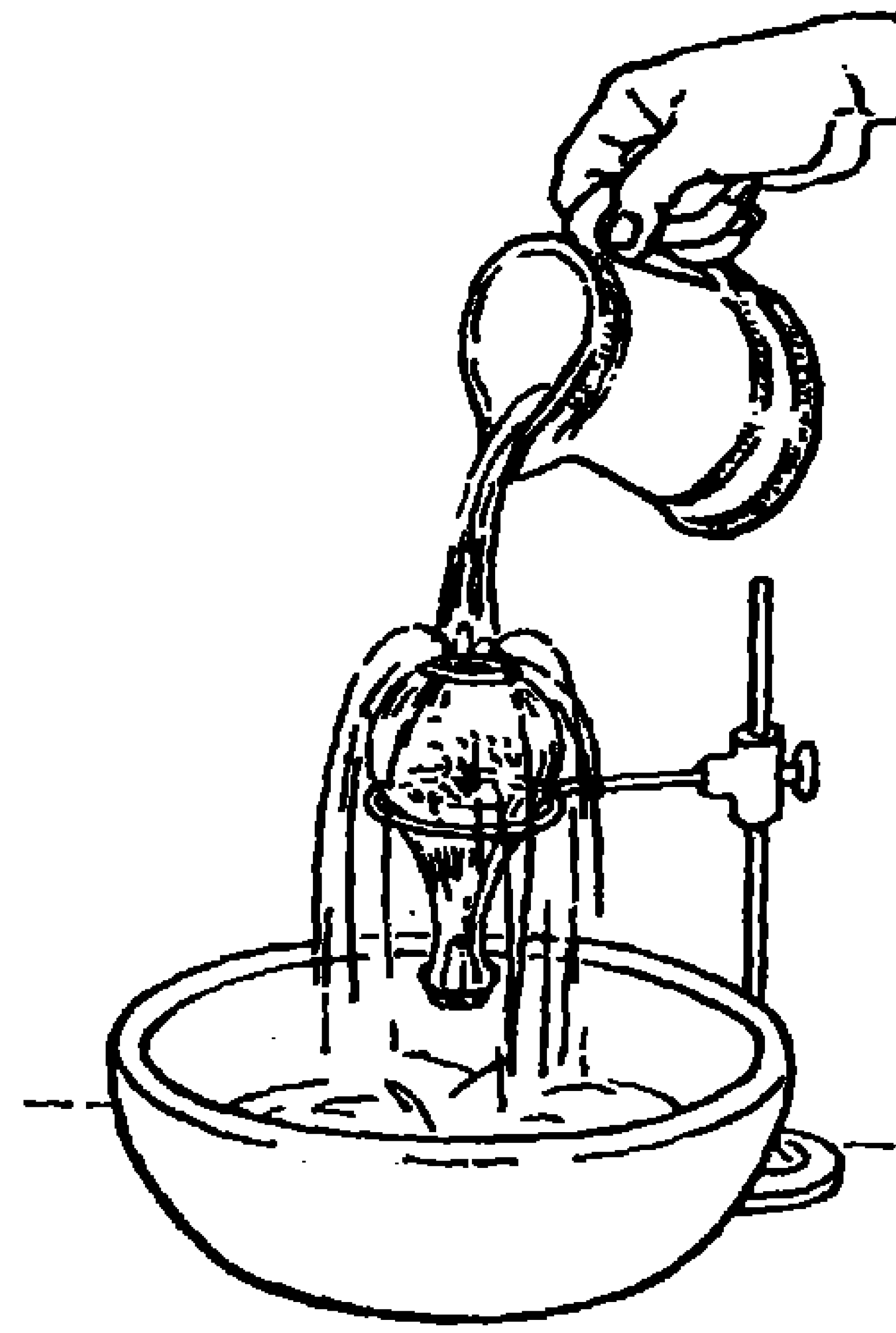
هل يمكن ان نغلى الماء بواسطة الثلج ؟

ان بعض القراء سيجيبون على ذلك بما يلى : « اذا لم يكن باستطاعتنا أن نغلى الماء فى داخل الماء المغلى ، فكيف اذن سنغليه فى الثلج ! » اننى انصح القراء بعدم

التسرع في الاجابة ، والقيام بالتجربة التالية ، ولو باستخدام نفس القنينة الزجاجية ، التي استخدمناها في التجربة السابقة .

املأ القنينة الى منتصفها بالماء ، واغمرها في الماء المالح المغلي . وعندما يغلي الماء في داخل القنينة ، ارفع القنينة من القدر ، وسد فوهتها بسرعة ، بسدادة من الفلين معدة سابقا لهذا الغرض . والآن اقلب القنينة وانتظر الى ان يتوقف غليان الماء الموجود في داخلها . وبعد حلول هذه اللحظة ، صب الماء المغلي على الزجاجة ، وستجد ان الماء مع ذلك لن يغلي . ولكن اذا وضعت على قاعدة الزجاجة قليلا من الثلج ، او اذا صببت على الزجاجة ماء باردا فقط ، كما هو مبين في الشكل ٨٥ ، فسترى بان الماء يبدأ بالغليان . وهكذا فعل الثلج ، ما لم يفعله الماء المغلي !

ومما يزيد من حيرة الانسان ، انه لن يشعر بحرارة عالية عندما يلمس الزجاجة ، بينما يشاهد الماء بام عينيه ، وهو يغلي في داخلها ! إن السر يكمن في قيام الثلج بتبريد جدران القنينة الزجاجية ؛ ونتيجة لذلك يتكثف البخار ، ويتحول الى قطرات



شكل ٨٥ : ان الماء يغلي في القنينة ، عندما نصب الماء البارد عليها .



شكل ٨٦ : النتيجة غير المتوقعة لتبريد علبة الصفيح .

من الماء . ولما كان الهواء قد طرد من القنينة الزجاجية قبل ذلك في مرحلة الغليان ، فان الماء الموجود في داخلها الآن ، يتعرض لضغط يقل عن السابق بكثير . ومن المعروف ، انه عند تقليل الضغط المؤثر على السائل ، فانه يغلي عند درجة حرارة ، اقل من درجة غليانه الطبيعية بكثير . وهكذا يكون لدينا في داخل القنينة الزجاجية ، ماء مغلي ، ولكنه غير حار .

اما اذا كانت جدران القنينة الزجاجية رقيقة جدا ، فقد يؤدي تكثف البخار في داخلها ، الى ما يشبه الانفجار ذلك لان ضغط الهواء الخارجي ، عندما لا يلاقي مقاومة كافية من داخل القنينة ، يمكنه ان يحطمها في الحال (وبهذه المناسبة ، فان كلمة « انفجار » غير مناسبة في هذه الحالة) . ولهذا ، من الافضل استخدام قنينة كروية الشكل ، مثلا دورق محدب القعر ، لكي يضغط الهواء الخارجي على الجزء المحدب .

والاكثر امانا ، اجراء هذه التجربة باستخدام علبة من الصفيح . وبعد ان نغلي في داخلها قليلا من الماء ، نسد فتحتها باحكام ، ونصب عليها ماء باردا . وسوف نرى بان العلبة المحتوية على بخار الماء ، ستتجعد في الحال تحت تأثير الضغط الخارجي للهواء ، وذلك لان البخار في داخلها قد تكثف وتحول الى ماء ، بعد ان تعرض للتبريد . وستبدو العلبة بعد ذلك مجعدة كما لو اننا قد طرقناها بمطرقة ثقيلة (شكل ٨٦) .

الحساء الناتج عن غلي البارومتر

حدثنا الكاتب الامريكي الساخر مارك توين ، في كتابه « رحلة الى الخارج » ، عن احدى وقائع تجواله في جبال الالب — وهي واقعة وهمية بطبيعة الحال :

« لقد انتهت متاعبنا ، ولهذا استطاع الرجال ان يرتاحوا . اما انا ، فقد اتيحت لي الفرصة اخيرا ، للالتفات الى الناحية العلمية للبعثة الاستكشافية . وقبل كل شيء ، اردت ان اعين ارتفاع الارض التي وقفنا عليها ، بواسطة البارومتر ، ولكن لم احصل على اية نتيجة مع الاسف . لقد عرفت من مطالعاتي العلمية ، بانه يجب ان نغلي اما

الترمومتر او البارومتر ، للحصول على الدلائل المطلوبة . ولكننى ربما لم اكن متأكدا من غلى هذا او ذاك بالذات . ولهذا ، فقد قررت ان اغلى كليهما معا .

ولكننى مع ذلك ، لم احصل على اية نتيجة . ولما فحصت كلا المقياسين ، رأيت بانهما قد اصيبا بعطب تام حيث لم يبق فى البارومتر سوى المؤشر النحاسى ، اما بصلة الترمومتر ، فقد خلت الا من كتلة منكمشة من الزئبق . . .



شكل ٨٧ : ابحاث مارك توين العلمية.

وبحثت عن بارومتر آخر ، وكان جديدا للغاية وجيدا جدا . ثم غليته لمدة نصف ساعة فى قدر خزفية ، تحتوى على حساء الفول ، الذى كان الطاهى يعده للطعام . وكانت النتيجة غير متوقعة ، اذ توقف البارومتر عن العمل تماما ، واكتسب الحساء مذاقا حادا ، خاصا بالبارومتر ، الامر الذى جعل رئيس الطهاة — وهو رجل حاد الذكاء — يغير اسم الحسء فى قائمة الطعام . وقد نال هذا الصنف الجديد من الحساء ، استحسان الجميع بلا استثناء ، بحيث امرت الطهاة باعداد حساء من البارومتر فى كل يوم . وكان البارومتر بطبيعة الحال ، قد تلف تماما ، ولكننى لم اعره اهتماما خاصا . وبما انه لم يساعدنى على تعيين ارتفاع الارض ، فاننى لست بحاجة اليه بعد الآن » .

والآن ، نترك المزاح جانبا ، ونحاول الاجابة على السؤال التالى : ما الذى يجب غليه فى الواقع ، الترمومتر ام البارومتر ؟

يجب ان نغلى الترمومتر ، اما السبب ، فساشرحه فيما يلى :

لقد رأينا من التجربة السابقة ، بانه كلما قل الضغط المؤثر على الماء ، كلما انخفضت درجة غليانه تبعا لذلك . وبما ان الضغط الجوى يقل ، كلما ارتفعنا الى اعلى الجبال ، اذن ، يجب ان تنخفض درجة غليان الماء فى نفس الوقت . وفى الواقع ،

اثبتت التجارب ان درجة غليان الماء النقى ، تعتمد على مقدار الضغط الجوى ، كما تبينه الارقام المدرجة ادناه :

درجة الغليان (مئوية)	١٠١	١٠٠	٩٨	٩٦	٩٤	٩٢	٩٠	٨٨	٨٦
الضغط في البارومتر (مم)	٧٨٧,٧	٧٦٠	٧٠٧	٦٥٧,٥	٦١١	٥٦٧	٥٢٥,٥	٤٨٧	٤٥٠

وفى مدينة برن (سويسرا) ، حيث يبلغ معدل الضغط الجوى ٧١٣ مم ، يغلى الماء فى الاوانى المكشوفة ، عند درجة حرارة قدرها $٩٧,٥^{\circ}$ مئوية ، اما على قمة الجبل الابيض ، حيث يشير البارومتر الى ضغط قدره ٤٢٤ مم ، فتصل درجة حرارة الماء المغلى الى $٨٤,٥^{\circ}$ مئوية فقط . وكلما ارتفعنا بمقدار كيلومتر واحد عن سطح البحر ، كلما انخفضت درجة غليان الماء بمقدار ٣° مئوية . اى اننا اذا قسنا درجة الحرارة ، التى يغلى عندها الماء (او حسب تعبير مارك توين « اذا قمنا بغلى الترمومتر ») ، ونظرنا الى ما يقابلها فى الجدول المطابق ، لتمكنا من معرفة ارتفاع المكان الذى نقف عليه . ولهذا الغرض ، يجب بطبيعة الحال ان نزود انفسنا بجدول خاص ، معد سابقا ، الامر الذى نسيه مارك توين بكل بساطة .

ان الاجهزة المستخدمة لهذا الغرض — الابسومترات — تكون سهلة الحمل ، مثل البارومترات المعدنية ، وتعطى نتائج اضبط بكثير .

ومن البديهى ، ان البارومتر ايضا ، يمكن ان يستخدم لتعيين ارتفاع الارض ، وذلك لانه يشير الى الضغط الجوى مباشرة ، بدون اى غليان ، ويتضح انه كلما ارتفعنا الى الاعلى ، كلما قل الضغط الجوى تبعا لذلك . ولكن فى هذه الحالة ، لا بد ، اما من وجود الجدول ، الذى يبين مدى انخفاض الضغط الجوى ، تبعا للارتفاع عن مستوى سطح البحر ، او من معرفة الصيغ الخاصة بذلك . وقد اختلطت كل هذه الاشياء فى ذهن الروائى الساخر ، وحفزته على « طهى حساء من البارومتر » .

هل يكون الماء المغلى حارا دائما ؟

كان الجندى المراسل الشجاع « بن زوف » ، الذى يتذكره كل من طالع رواية جول فيرن « هكتور سرفاداك » ، يعتقد اعتقادا راسخا ، بان الماء المغلى اينما وجد ، يكون دائما بنفس الدرجة من الحرارة . وربما كان سيبقى على اعتقاده هذا ، طوال حياته ، لو لم يجد نفسه ذات مرة على سطح احد المذنبات ، مع قائده سرفاداك ، ان هذا المذنب المتقلب الاطوار ، اصطدم بالكرة الارضية ، واقتطع منها ذلك الجزء ، الذى كان يقف عليه هذان البطلان ، ثم انطلق بهما بعيدا ، ليدور فى مداره الاهليلجى ، وفى هذا الوقت بالذات ، تأكد الجندى المراسل لاول مرة ، بناء على تجربته الخاصة ، ان الماء المغلى لا يكون بنفس الدرجة من الحرارة ، فى كل مكان على السواء . وقد توصل الى هذا الاكتشاف فجأة ، عندما كان يعد طعام الفطور .

« صب بن زوف الماء فى القدر ، ووضعها على النار ، ثم انتظر لحظة غليان الماء ، ليلقى فيه البيض ، الذى بدا له وكأنه لا يحتوى على شئ ، لضآلة وزنه . وفى اقل من دقيقتين ، بدأ الماء بالغليان . وهتف بن زوف قائلا :

ما هذا ! ان النار هنا ، تسخن الماء بشدة !

واجابه سرفاداك بعد تفكير قليل :

— ان النار لا تسخن الماء بشدة ، ولكن الماء هو الذى يغلى بسرعة .

وتناول الترمومتر السنتجرادى ، وغمره فى الماء المغلى .

ولم يشر الترمومتر الى اكثر من ٦٦° مئوية . وهتف القائد بدهشة :

— ماذا ارى ! ان الماء يغلى عند درجة ٦٦° مئوية ، بدلا من ١٠٠° مئوية .

— وما العمل يا سيدى القائد ؟

— انصحك يا بن زوف ، بابقاء البيض فى الماء المغلى ، لمدة ربع ساعة .

— ولكنه سينسلق كثيرا ، ويتجمّد !

— لا يا صديقى ، انه بالكاد سينسلق .

ومن الواضح ، ان سبب هذه الظاهرة ، كان قلة ارتفاع الغلاف الجوى . ان عمود الهواء الموجود فوق الارض ، قل الى الثلث تقريبا ، وهذا هو السبب الذى جعل الماء ، المعرض لضغط اقل ، يغلى عند درجة حرارة قدرها ٦٦° مئوية ، بدلا من ١٠٠° مئوية وكانت هذه الظاهرة بالذات ، ستتكرر ، على جبل يبلغ ارتفاعه ١١٠٠٠م . ولو كان بحوزة القائد بارومتر ، لاستطاع قياس مقدار الانخفاض فى الضغط الجوى » .

اننا سوف لا نشكك فى صحة ملاحظات البطلين ؛ انهما يؤكدان بان الماء قد غلى عند ٦٦° مئوية ، وستتقبل هذا التأكيد على أنه حقيقة ثابتة . ولكن من المشكوك فيه جدا ، انهما شعرا بصحة جيدة فى ذلك الجو المخلخل ، الذى عاشا فيه .

وقد اشار جول فيرن اشارة صحيحة تماما ، الى امكانية ملاحظة مثل هذه الظاهرة ، على ارتفاع ١١٠٠٠م . لان الماء هناك ، كما يظهر من الحساب * ، يجب ان يغلى بالفعل عند ٦٦° مئوية . ولكن الضغط الجوى عند هذه الدرجة من الحرارة ، يجب ان يعادل ١٩٠ مم من عمود الزئبق ، اى ربع الضغط الجوى العادى تماما . وفى مثل هذا الهواء المخلخل الى هذه الدرجة ، يصبح التنفس مستحيلا تقريبا ! لان الحديث هنا يخص الارتفاعات الواقعة فى طبقة الستراتوسفير !

اننا نعلم بان الطيارين الذى وصلوا الى ارتفاع يتراوح بين ٧ — ٨ كم ، بدون استخدام اقنعة الاكسجين ، فقدوا رشدهم نتيجة لنقصان الهواء ، بينما استطاع القائد ومراسله تحمل ذلك مع عدم وجود بارومتر فى متناول يديه وكان من حسن حظ سرفاداك، والا لاضطر جول فيرن الى اكراه مؤشر البارومتر على الوقوف عند الرقم ، الذى لا يجب الوقوف عنده ، طبقا لقوانين الفيزياء .

وقد اتضح بتطور الطب الجوى والفضائى ، بان التأثير المدمر للارتفاعات الشاهقة ، على الكائنات الحية ، لا يتلخص فى نقصان الهواء الضرورى لعملية التنفس فحسب ،

* وفى الواقع ، اذا كانت نقطة غليان الماء ، كما ذكرنا سابقا (ص ١٩١) ، تنخفض بمقدار ٣° مئوية كلما ارتفعنا كيلومترا واحدا ، فنجد انه لكى نخفض درجة غليان الماء الى ٦٦° مئوية ، يجب ان نصعد الى ارتفاع قدره $\frac{٣٤}{٣}$ = ١١ كم تقريبا .

بل ان هناك خطورة كبيرة جدا ، تنتج من جراء انخفاض الضغط الفجائي ، الذى يمكن حدوثه مثلا ، عند اصابة الغلاف الخارجي للمركبة الفضائية بعطب ما ، نتيجة لاصطدامها باحد النيازك . وفي هذه الحالة ، تتحرر الغازات المذابة فى الدم بسرعة ، ويبدأ الدم بالغليان بكل معنى الكلمة .

ويتعرض الغطاسون غير المجربون ، الى نفس هذا الخطر ، اذا صعدوا الى سطح الماء بسرعة كبيرة ، حيث يهددهم « مرض الانسداد الهوائى » — aeroembolism.

واذا فرضنا بان بطلينا لم يظهرا على سطح المذنب الوهمى ، بل ظهرا على كوكب المريخ مثلا ، حيث لا يزيد الضغط الجوى على ٦٠ — ٧٠ مم ، لوجب عليهما ان يشربا ماء مغليا ، تقل درجة حرارته عن الماء السابق بكثير — بمقدار ٤٥° مئوية فقط !

وعلى العكس من ذلك ، يمكن الحصول على ماء مغلى ، شديد الحرارة ، فى المناجم العميقة ، حيث يكون الضغط الجوى اكبر بكثير مما هو عليه عند سطح الارض . ان الماء يغلى عند ١٠١° مئوية ، فى المنجم الذى يبلغ عمقه ٣٠٠ م ؛ ويغلى عند ١٠٢° مئوية ، فى المنجم الذى يبلغ عمقه ٦٠٠م .

وعندما يرتفع الضغط الى درجة كبيرة ، يغلى الماء فى غلاية المكنة البخارية . وعلى سبيل المثال ، عندما يصل الضغط الى ١٤ جوى ، يغلى الماء عند ٢٠٠° مئوية ! وعلى العكس من ذلك ، يمكن غلى الماء الموجود تحت جرس مضخة الهواء ، عند درجة حرارة الغرفة ، ونحصل بذلك على ماء مغلى ، لاتزيد حرارته على ٢٠° مئوية .

الجليد الساخن

لقد تحدثنا الآن عن الماء المغلى المعتدل البرودة . وهناك ما يدعو الى الدهشة اكثر من ذلك ، الا وهو الجليد الساخن . وقد تعودنا على التفكير ، بان الماء لا يمكن ان يوجد فى حالة صلبة ، عند درجة حرارة تزيد على درجة الصفر المئوى . الا ان ابحاث الفيزيائى الانكليزى بيرجمان ، اثبتت خطأ هذا التفكير . ان الماء يتحول الى حالة الصلابة ، عندما يتعرض لضغط كبير جدا ، ويبقى على تلك الحالة ، عند درجة حرارة تزيد على درجة الصفر المئوى بكثير . وبصورة عامة ، اثبتت ابحاث

بيرجمان ، قد تكون هناك عدة انواع من الجليد ، لا نوعا واحدا فقط . ان ذلك النوع من الجليد ، الذى اطلق عليه اسم « الجليد رقم ٥ » ، يتكون تحت ضغط هائل يقدر بـ ٢٠٦٠٠ جوى ، ويبقى على حالته الصلبة عند حرارة قدرها ٧٦° مئوية ، ويمكنه ان يحرق الاصابع ، التى تلمسه فى هذه الحالة . ولكن لمس هذا الجليد غير ممكن ، وذلك لان الجليد رقم ٥ ، يتكون تحت مكبس قوى ، فى وعاء صنعت جدرانه من اشد انواع الفولاذ صلابة .

ومن الطريف ، ان « الجليد الساخن » يكون اكثف فى الجليد العادى ، بل وحتى من الماء ايضا ؛ حيث يبلغ وزنه النوعى ١,٠٥ . ولهذا ، يمكن ان يغطس مثل هذا الجليد فى الماء ، فى حين يطفو الجليد العادى على سطح الماء .

برودة من الفحم

ان استخدام الفحم للحصول على البرودة ، دون الحرارة ، ليس بالامر المستحيل حيث يتم ذلك كل يوم فى المصانع التى تنتج ما يسمى بـ « الجليد الجاف » . وهنا يحرق الفحم فى غلايات خاصة ، وينقى الدخان الناتج من الاحتراق ، ثم يلتقط غاز ثانى اوكسيد الكربون الموجود فيه ، بواسطة محلول قلوى وبعد ذلك يؤخذ غاز ثانى اوكسيد الكربون المنقى بالتسخين ، ويحول بالتبريد والضغط المتتاليين ، الى الحالة السائلة ، تحت ضغط قدره ٧٠ جوى .

وهذا هو نفس ثانى اوكسيد الكربون السائل ، الذى ينقل فى اسطوانات سميكة الجدران ، الى مصانع المشروبات الفوارة ، او يستخدم للاغراض الصناعية الاخرى . وهذا السائل بارد الى درجة تجعل التربة تتجمد ، كما يحدث عند حفر وانشاء انفاق المترو . ولكن هناك صناعات اخرى ، تتطلب وجود هذا السائل فى الحالة الصلبة ، اى كما يسمى بالجليد الجاف .

ان الجليد الجاف ، اى غاز ثانى اوكسيد الكربون الصلب ، يتكون من نفس الغاز السائل ،عند تبخره السريع تحت ضغط منخفض . وقطع الجليد الجاف ، تشبه من حيث المظهر الخارجى ، الثلج المضغوط ، اكثر مما تشبه الجليد ، وبصورة

عامة ، تختلف عن الماء المتصلب كثيرا . ان هذا الجليد ، اثقل من الجليد العادى ، ويغطس كليا فى الماء . وبغض النظر عن درجة حرارته المنخفضة جدا (–٧٨° مئوية) ، لا تحس الاصابع بالبرد الناتج عنه ، عندما تلمس قطعة منه بلطف . وسبب ذلك يعود الى ان غاز ثانى اوكسيد الكربون الناتج عند ملامسة الاصابع للقطعة ، يحمى البشرة من تأثير البرد الشديد . ولا تتجمد اصابع اليد، الا اذا تناولنا قطعة من ذلك الجليد ، وضغطناها بين اصابعنا وراحة يدنا .

ان تسمية « الجليد الجاف » ، تعبر بنجاح تام عن الخاصية الفيزيائية الرئيسية لهذا الجليد . لانه فى الواقع ، لا يكون مبللا ابدا ، ولا يبلل الاشياء المحيطة به بتاتا . واذا اثرت عليه الحرارة ، فانه يتحول توا الى غاز ، دون ان يمر بالحالة السائلة . ذلك لان ثانى اوكسيد الكربون ، لا يمكن ان يوجد فى الحالة السائلة ، تحت الضغط الجوى الاعتيادى . ان خاصية الجليد الجاف هذه ، بالاضافة الى درجة حرارته المنخفضة ، تجعل منه مادة تبريدية لا يمكن الاستغناء عنها ، فى الاغراض العملية . ان الاطعمة والمنتجات ، التى تحفظ بواسطة جليد ثانى اوكسيد الكربون ، لا تصيبها الرطوبة ، وكذلك تتم حمايتها من التلف والتعفن . لان وجود غاز ثانى اوكسيد الكربون فى ذلك الوسط ، يمنع تكاثر الكائنات الحية الدقيقة . ولذلك لا تظهر على الاطعمة والمنتجات اية عفونة او بكتريا . ولا تستطيع الحشرات والقوارض بدورها ، ان تعيش فى مثل هذا الجو . واخيرا ، فان ثانى اوكسيد الكربون يعتبر بمثابة مادة ناجحة لمكافحة الحرائق ، حيث يمكن اخماد النار المشتعلة فى البنزين ، برمى عدة قطع من الجليد الجاف ، فى تلك النار . ان هذا كله ، ادى الى اتساع نطاق استخدام الجليد الجاف ، الى درجة كبيرة جدا ، فى الصناعة وفى اغراض التدبير المنزلى .

الفصل الثامن | **المغنطيسية والكهرباء**

«الحجر العاشق»

لقد أطلق الصينيون على المغنطيس الطبيعي اسم « الحجر العاشق » . ويقول الصينيون بان هذا الحجر (تشو – شي) ، يجذب الحديد ، كما تستميل الام الحنون أطفالها الصغار . ومن الجدير بالذكر ، ان الفرنسيين – الشعب الذي يعيش في القسم الاخر من العالم القديم – كانوا يطلقون على هذا الحجر اسما مشابها للاسم الصيني . ان كلمة «aimant» باللغة الفرنسية ، تعني « مغنطيس » و « عاشق » .

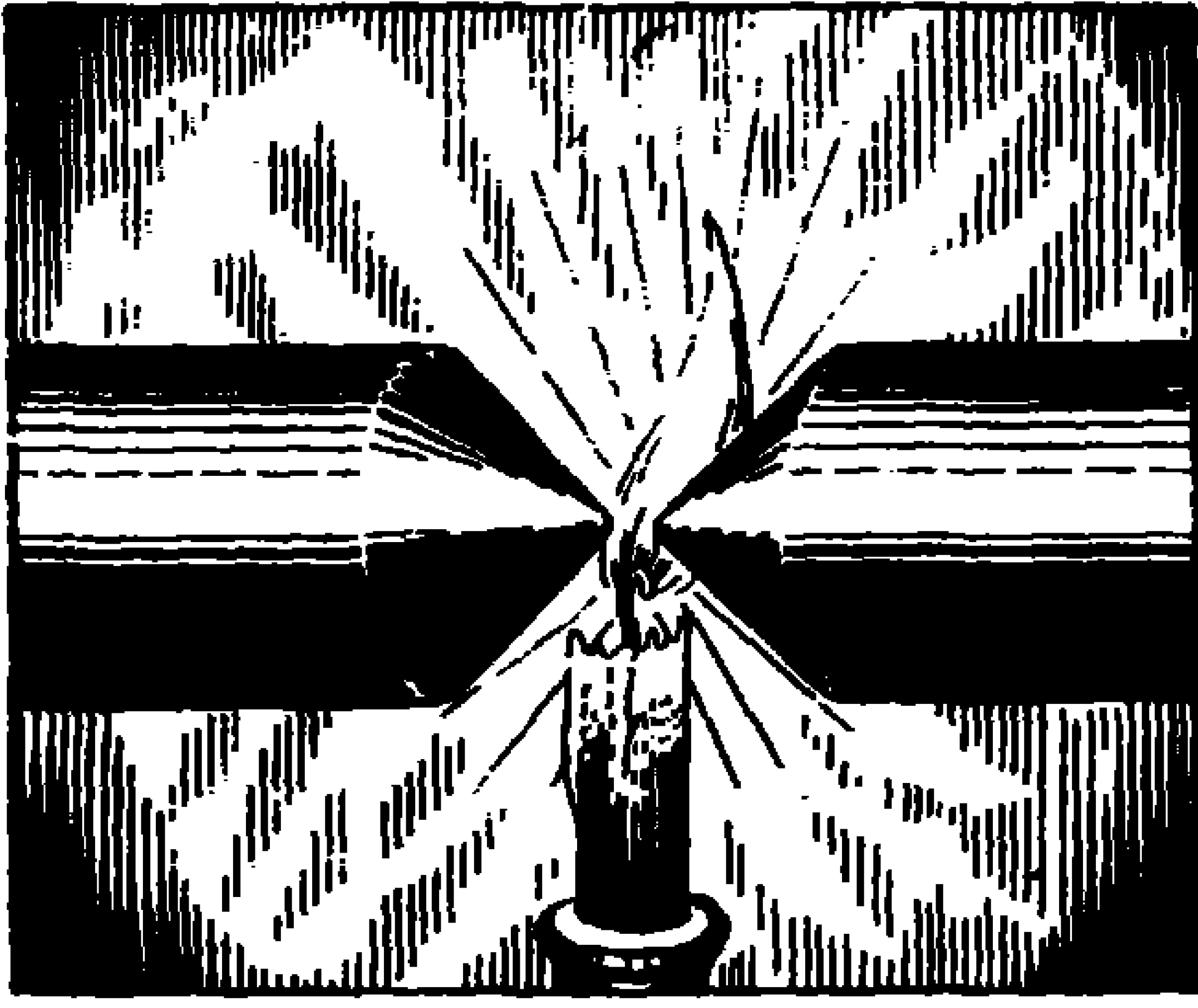
ان قوة هذا « الحب » عند المغنطيس الطبيعي ، ليست كبيرة . ولهذا ، فان التسمية الاغريقية للمغنطيس تعتبر ساذجة جدا ، حيث اطلقوا عليه اسم « حجر هرقل » . واذا كان الاغريقيون القدماء قد بهتوا لقوة الجذب المعتدلة للمغنطيس الطبيعي ، فما الذي كانوا سيقولونه لو رأوا المغنطيس ، الذي يرفع كتلا يصل وزنها الى عدة أطنان ، في مصانع الميتالورجيا الحديثة ! وفي الحقيقة ، فان هذا المغنطيس ليس طبيعيا ، ولكنه مغنطيس كهربائي ، أي عبارة عن كتل حديدية ، ممغنطة بواسطة تيار كهربائي ، يمر في ملف يحيط بتلك الكتل . الا ان القوة الطبيعية المؤثرة في كلتا الحالتين ، هي المغنطيسية وحدها .

ولا يجب التفكير بان المغنطيس يؤثر على الحديد فقط ، حيث يوجد عدد من المواد الاخرى التي تتأثر بالمغنطيس القوي ، ولو لم يكن بنفس الدرجة التي يتأثر بها الحديد .

ويؤثر المغنطيس تأثيرا ضعيفا ، على المعادن التالية : النيكل ، الكوبلت ، المنجنيز ، البلاتين ، الذهب ، الفضة والالومنيوم . والاغرب من ذلك ، خواص

المواد المسماة بالاجسام الدايامغنطيسية، مثل الزنك ، الرصاص ، الكبريت والبزموث . ان هذه المواد تتنافر بتأثير المغنطيس القوى!

والغازات والسوائل تتأثر بالمغنطيس هى الاخرى . فاما ان تنجذب او ان تنفر ، ولكن بدرجة ضعيفة جدا . ويجب ان يكون المغنطيس قويا جدا ، كى يكون بامكانه التأثير على هذه المواد بشكل ظاهر. ويمكن على سبيل المثال ، جذب الاكسيجين بواسطة المغنطيس . فاذا ملأنا فقاعة صابون بالاكسيجين ، ووضعناها بين قطبى مغنطيس كهربائى قوى ، لرأينا بان الفقاعة تمتـّط بوضوح من قطب الى آخر ، متأثرة بالقوى المغنطيسية الخفية . كما ان لهب الشمعة ، الموضوع بين قطبى مغنطيس قوى ، يغير شكله الطبيعى ، مما يدل بوضوح على حساسيته تجاه القوى المغنطيسية (شكل ٨٨) .



شكل٨٨ : لهب الشمعة بين قطبى مغنطيس كهربائى.

مسألة حول البوصلة

لقد اعتدنا على التفكير بان احد طرفى ابرة البوصلة ، يشير الى الشمال دائما ، بينما يشير الطرف الاخر الى الجنوب . ولذلك يبدو لنا بان السؤال التالى غير معقول بالمرة :

فى اى مكان من الكرة الارضية ، يشير كلا طرفى الابرة المغنطيسية ، الى الشمال ؟

واليك سؤالا آخر غير معقول ايضا :

فى اى مكان من الكرة الارضية ، يشير كلا طرفى الابرة المغنطيسية الى الجنوب ؟

ربما يكون القارئ قد استعد للتأكيد بان مثل هذين المكانين ، لا ولن يوجدا على سطح الكرة الارضية . فى حين انهما موجودان فى الحقيقة .

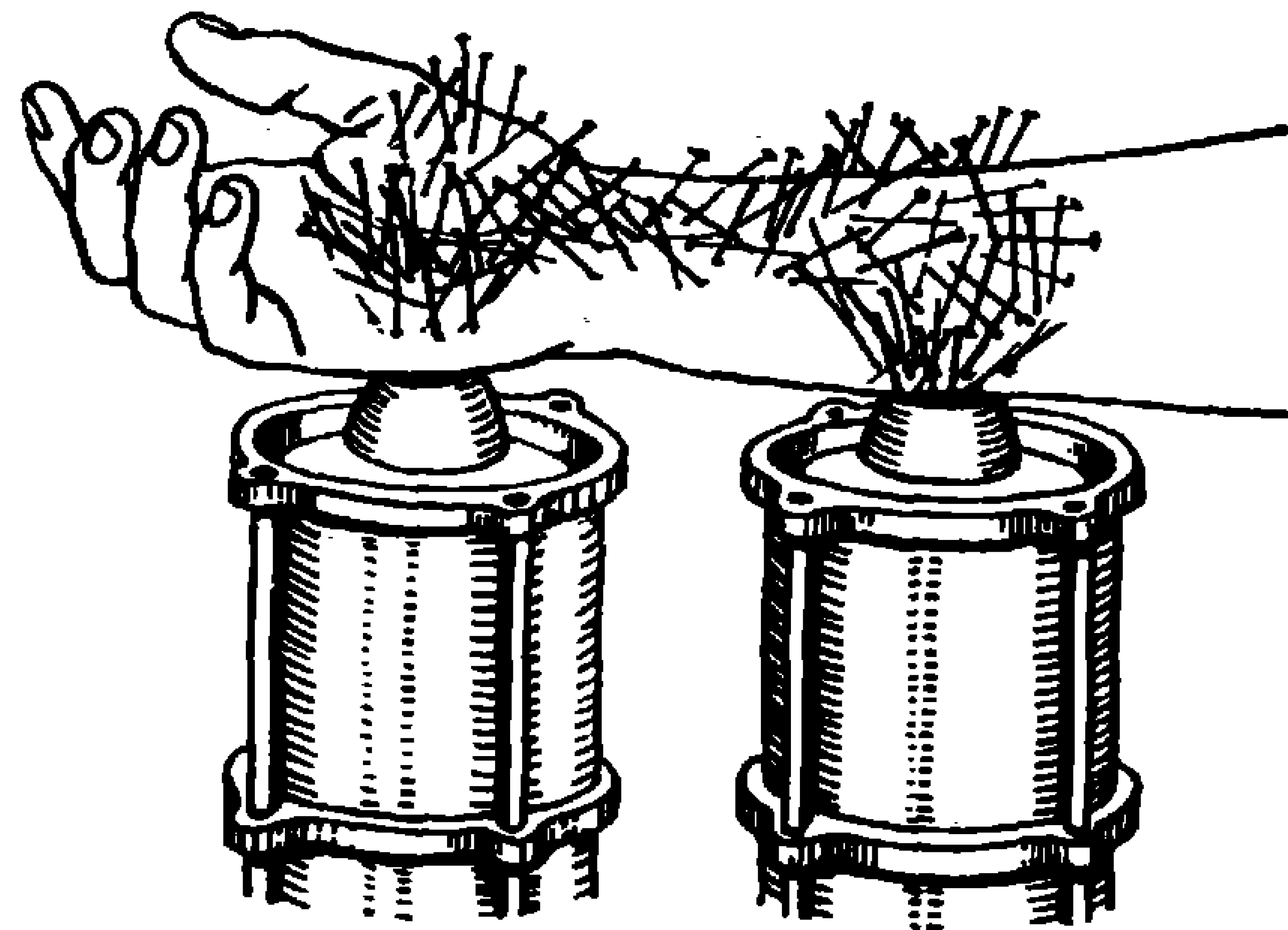
واذا تذكّر القارئ ، بان قطبى الارض المغنطيسيين ، لا ينطبقان مع قطبيها الجغرافيين ، فانه ربما سيعرف من تلقاء نفسه عن اى مكانين من الكرة الارضية يجرى

الحديث فى هذه المسألة . الى اى اتجاه ستشير ابرة البوصلة ، الموضوعة على القطب الجغرافى الجنوبى ؟ فى هذه الحالة سيكون احد طرفيها متجها نحو أقرب قطب مغنطيسى ، وسيتجه الطرف الاخر ، فى الاتجاه المعاكس . ولكن مهما كان الاتجاه ، الذى سنبتعد فيه عن القطب الجغرافى الجنوبى ، فاننا سنجد انفسنا سائرين نحو الشمال ، وذلك لعدم وجود اى اتجاه آخر يبدأ من القطب الجغرافى الجنوبى ، حيث لا يحيط به الا الشمال . وهذا يعنى بان كلا طرفى الابرة المغنطيسية الموضوعة هناك ، سيشيران الى الشمال .

وكذلك الحال بالنسبة لكلا طرفى الابرة المغنطيسية الموضوعة على القطب الجغرافى الشمالى ، اذ انهما سيشيران الى الجنوب حتما .

خطوط القوى المغنطيسية

ان الشكل ٨٩ ، المنقول عن احدى الصور الفوتوغرافية ، يمثل مشهدا طريفا ، حيث نرى كيف برزت حزم المسامير الكبيرة الى الاعلى ، نابعة من اليد الموضوعة على قطبى مغنطيس كهربائى ، وكأنها شعرات خشنة . ان اليد بالذات لا تشعر بالقوى المغنطيسية بتاتا ، لان هذه القوى الخفية تخترق اليد دون ان تترك اثرا يدل على وجودها .



شكل ٨٩ : مرور القوى المغنطيسية من خلال اليد .

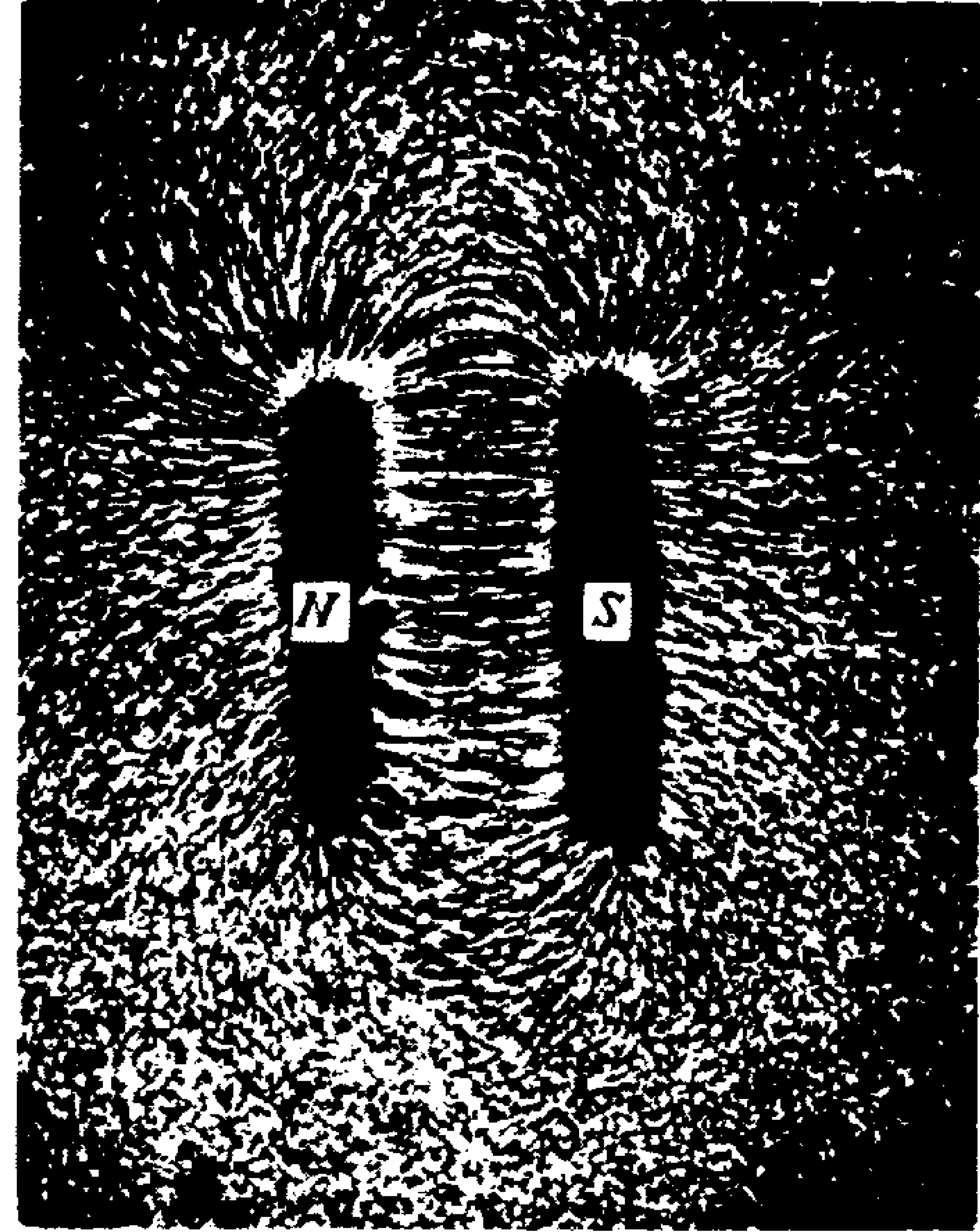
اما المسامير الحديدية ، فتخضع لتأثير هذه القوى تماما ، وتنتظم فى شكل معين ، مبيّنة لنا اتجاه القوى المغنطيسية .

ولا يوجد فى جسم الانسان ، اى عضو من اعضاء الحس ، يمكن للمجال المغنطيسى ان يؤثر فيه ، لاننا لا نعلم بوجود القوى المغنطيسية ، المحيطة بالمغنطيس ، الا بالحدس والتخمين فقط * . ولكن من السهل ان نتوصل مباشرة ، الى رسم شكل توزيع هذه القوى المغنطيسية . ومن الافضل ، ان نحقق الشكل المذكور ، باستخدام برادة الحديد الناعمة . اذ نذّر طبقة رقيقة منتظمة من برادة الحديد ، على قطعة ملساء من الورق المقوّى ، او على لوح من الزجاج ، ثم نمرر تحت قطعة الورق المقوى او اللوح الزجاجى مغنطيسا عاديا ، ونحرك البرادة بضربات خفيفة . ان القوى المغنطيسية تمر بحرية من خلال الورق المقوى والزجاج ، ونتيجة لذلك ، تتمغنط برادة الحديد بتأثير هذا المغنطيس . وعندما نحركها بضربة خفيفة ، فانها تنفصل عن اللوح الزجاجى للحظة قصيرة ، ثم تعود لتغير من وضعيتها ، وتأخذ الوضعية التى كانت ستأخذها الابرة المغنطيسية ، فيما لو وجدت فى هذا المكان بالذات ، اى بمحاذاة خطوط القوى المغنطيسية . وفى النتيجة ، تنتظم البرادة فى صفوف ، تبيّن بوضوح توزيع الخطوط المغنطيسية الخفية (شكل ٩٠) .

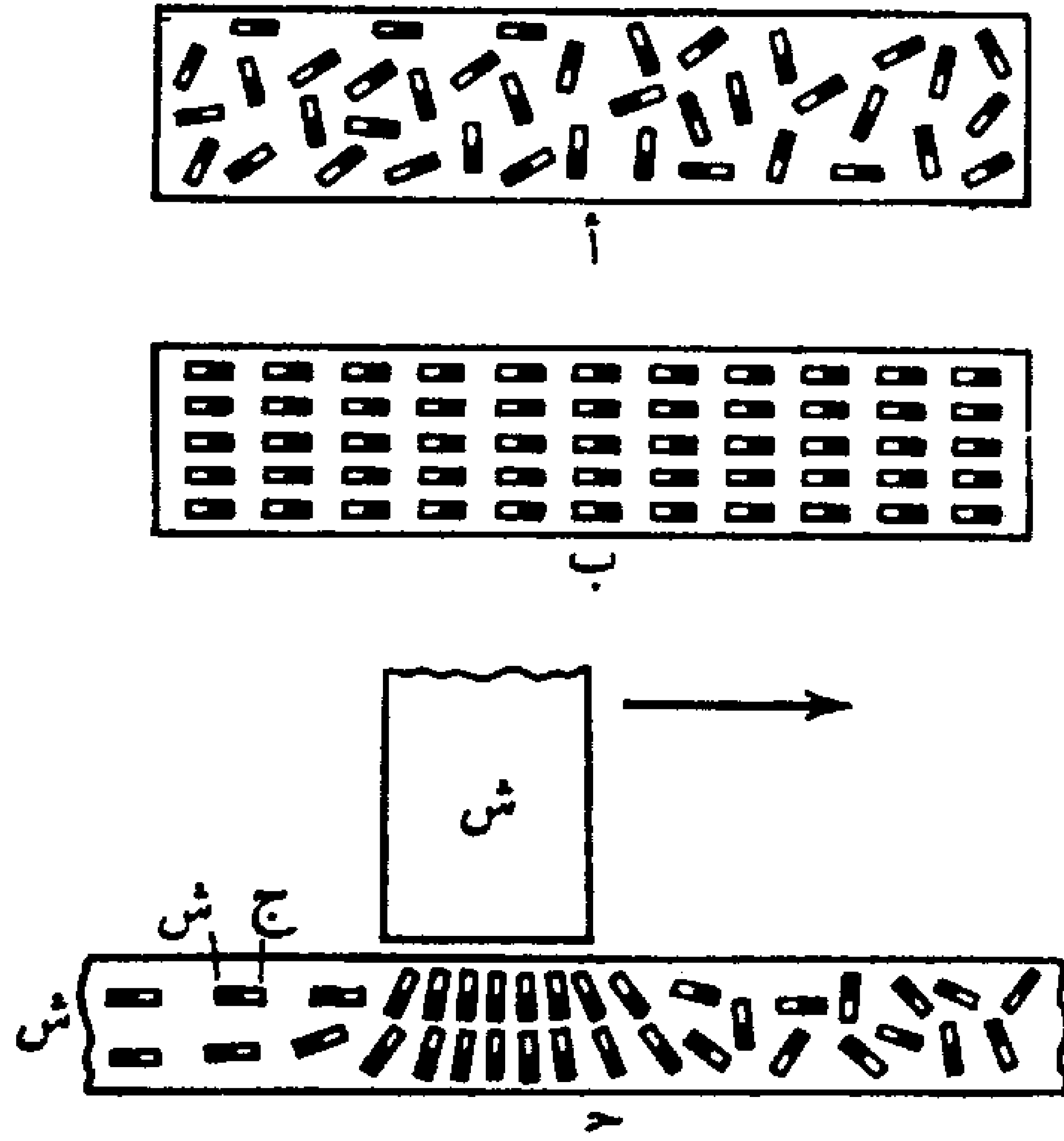
---

* من الطريف ان نتصور الانفعالات التى كانت ستنتابنا ، لو كنا نتمتع بحاسية مغنطيسية مباشرة . وقد تمكن العالم كريدل ، من تلقيح حيوان السرطان النهرى بنوع من الحاسية المغنطيسية . وقد لاحظ بعد ذلك ، ان السرطان النهرى القصير العمر ، يحشر فى آذنه احجارا ناعمة ، تضغط بثقلها على الشعرة الحساسة ، التى تمثل الجزء الرئيسى لعضو التوازن عنده . ان مثل هذه الاحجار ، التى تسمى بالحصيات الاذنية ، موجودة فى اذن الانسان ايضا ، بالقرب من عضو الحس الرئيسى . وعندما تؤثر هذه الاحجار الصغيرة فى الاتجاه العمودى ، فانها تشير إلى اتجاه قوة الجاذبية . وقد وضع كريدل فى اذن السرطان النهرى قليلا من برادة الحديد ، بدلا من الاحجار الناعمة ، بدون ان يشعر الحيوان بذلك . وعند تقريب المغنطيس من السرطان ، اتخذ وضعا عموديا على محصلة القوة المغنطيسية وقوة الجاذبية .

« وفى السنوات الاخيرة ، تمكن العلماء من اجراء تجارب مماثلة – بشكل آخر – على الانسان . وقد قام العالم كيلر ، بلصق دقائق صغيرة من الحديد ، بطبلة الاذن ، وكانت النتيجة ان شعرت الاذن بذبذبات القوة المغنطيسية ، مثلما تشعر بالصوت » – من ابحاث البروفيسور وينير .



شكل ٩٠ : ترتيب (وضعية) برادة الحديد على الورق المقوى الموضوع فوق قطبي المغنطيس (نسخة من صورة فوتوغرافية) .



شكل ٩١ : أ—ترتيب (وضعية) المغنطيسات الذرية في قطعة فولاذية غير ممغنطة ؛ ب—ترتيب المغنطيسات الذرية في قطعة فولاذية ممغنطة ؛ حـ— تأثير القطب المغنطيسي على المغنطيسات الصغيرة لقطعة فولاذية ممغنطة .

ان القوى المغنطيسية تشكل نظاما معقدا من الخطوط المنحنية . ويتضح من الشكل السابق ، كيف تخرج هذه الخطوط من كل قطب من قطبي المغنطيس ، وتتفرق مثل الاشعة ، وكيف تتحد البرادة مع بعضها ، وتشكّل أقواسا طويلة او قصيرة بين قطبي المغنطيس . ان برادة الحديد ، تبيّن للعين المجردة ، تلك الخطوط التي يرسمها الفيزيائي في مخيلته ، وهي الخطوط الخفية التي توجد حول كل مغنطيس . وكلما زاد الاقتراب من القطب المغنطيسي ، اصبحت خطوط برادة الحديد ، اكثر كثافة ودقة . ويحدث العكس ، كلما ابتعدت عن القطب المغنطيسي ، حيث

تقل كثافتها وتتلاشى دقتها ، الامر الذى يدل بوضوح على ضعف القوى المغنطيسية ، كلما زاد الابتعاد عن القطب .

كيف يتمغنط الفولاذ ؟

للاجابة على هذا السؤال ، الذى غالبا ما يطرحه القراء ، يجب قبل كل شئ ، ان نوضح الفرق بين الفولاذ الممغنط والمغنطيس بالذات . ويمكننا ان نعتبر كل ذرة حديد ، داخلة فى تركيب الفولاذ — الممغنط او غير الممغنط — بمثابة مغنطيس صغير للغاية . وتكون هذه المغنطيسات الصغيرة ، مرتبة بغير انتظام فى الفولاذ غير الممغنط ، بحيث يقضى تأثير كل مغنطيس منها ، على تأثير المغنطيس الذى يقابله (شكل ٩١ ، أ) . اما فى المغنطيس ، فيحدث العكس ، حيث تكون كافة المغنطيسات الصغيرة ، مرتبة بانتظام ، على هيئة أقطاب تحمل نفس الاسم ، وتتجه فى نفس الاتجاه (شكل ٩١ ، ب) .

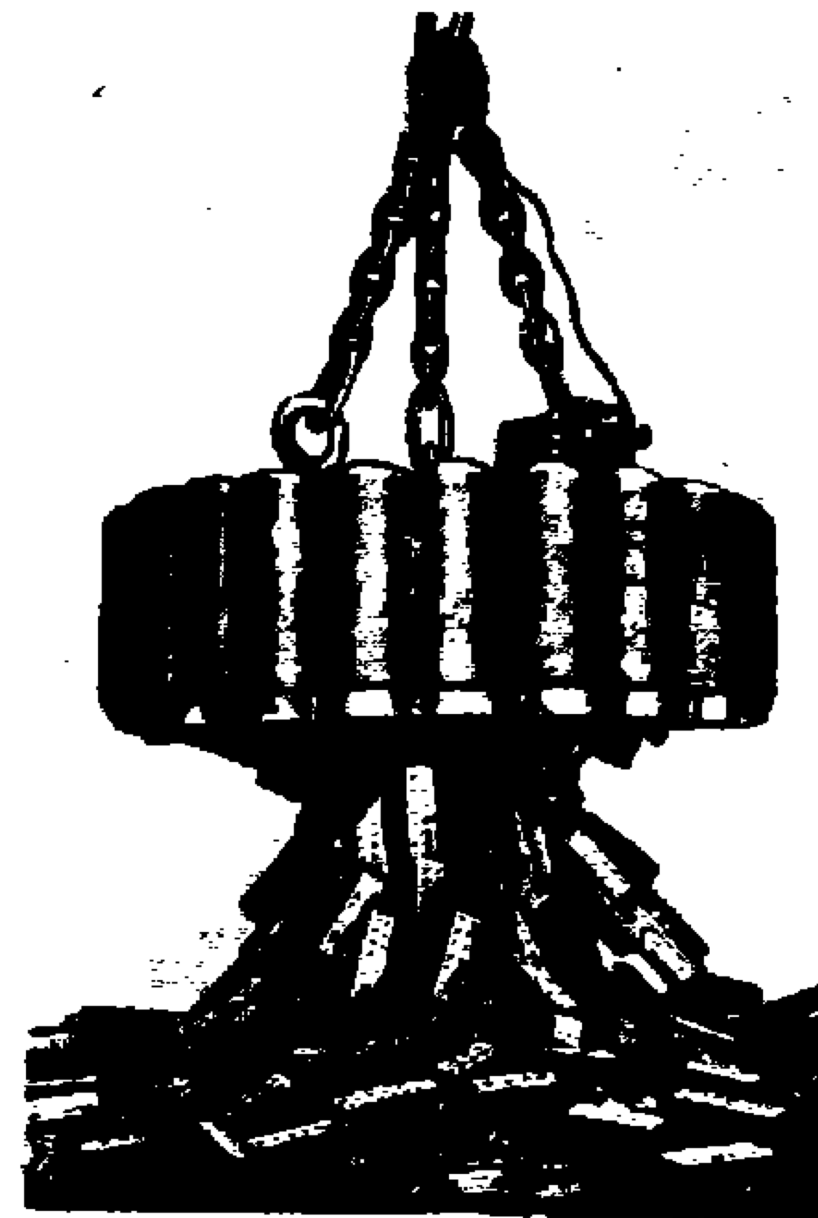
والآن ، ما الذى يحدث فى قطعة الفولاذ ، عندما تمغنط ؟ تعمل قوة جذب المغنطيس على تحريك المغنطيسات الصغيرة لقطعة الفولاذ ، وترتبها على هيئة أقطاب تحمل نفس الاسم وتتجه فى نفس الاتجاه. ويبين الشكل (٩١ ، حـ) بوضوح كيفية حدوث هذه العملية : ان المغنطيسات الصغيرة (الاولية) ، تستدير فى البداية ، متجهة بأقطابها الجنوبية نحو القطب الشمالى للمغنطيس ، وعندما نحرك المغنطيس الى مسافة أبعد ، تترتب تلك المغنطيسات طوليا ، باتجاه حركته ، متجهة بأقطابها الجنوبية نحو مركز القطعة الفولاذية .

ومن هنا نفهم بسهولة ، كيف يجب تحريك المغنطيس عند مغنطة قطعة الفولاذ ، وذلك بوضع احد قطبى المغنطيس عند طرف قطعة الفولاذ ، ونحرك المغنطيس على طول القطعة ، مع المحافظة على التصاقه الجيد بها . وهذه الطريقة ، هى احدى الطرق البسيطة والقديمة لعملية المغنطة ، ولكنها صالحة فقط للحصول على مغنطيس ضعيف وصغير الحجم . ويمكن الحصول على مغنطيس قوى ، باستخدام خواص التيار الكهربائى .

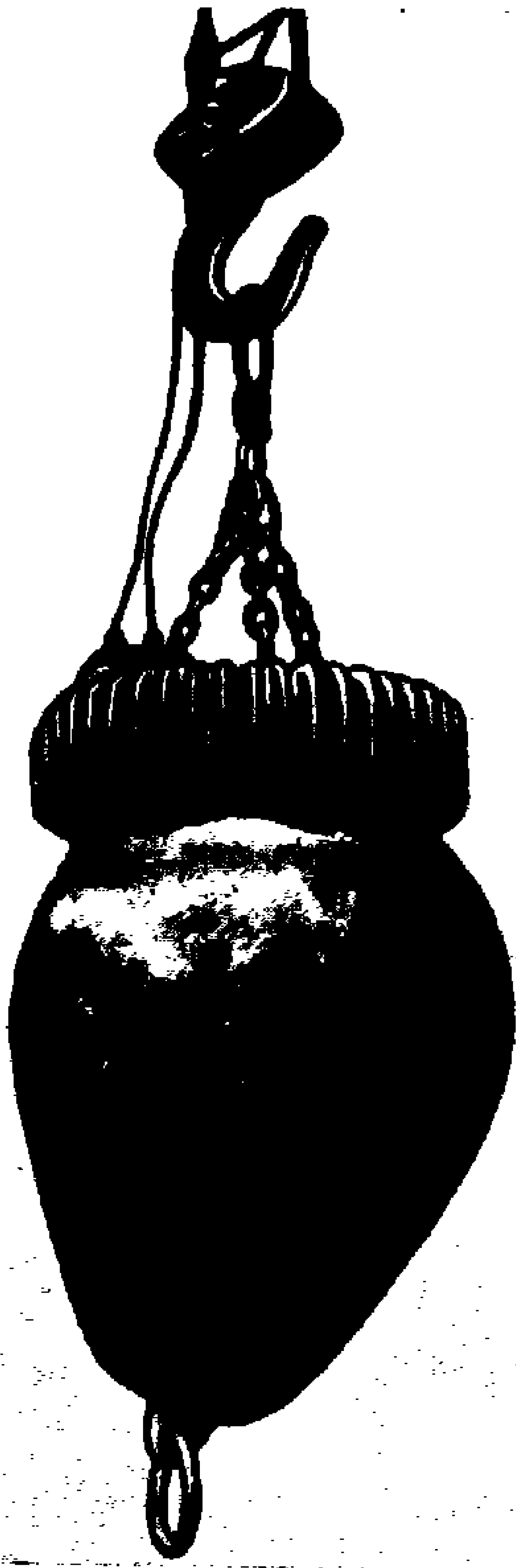
وقد تمكن العلماء فى السنوات الاخيرة من تحضير بعض السبائك التى لها خواص مغنطيسية قوية جدا ــ تزيد قوتها بعشرات ومئات المرات على قوة المغنطيس الطبيعى .

المغنطيس الكهربائى الجبار

ان باستطاعة كل من يزور مصانع الميتالورجيا ، مشاهدة الاوناش (الرافعات) المغنطيسية الكهربائية ، وهى تنقل احمالا ثقيلة جدا . وتقوم هذه الاوناش بخدمات لا تضاهى ، عند رفع ونقل الكتل الحديدية فى مصانع صهر الفولاذ وما شابهها . آن الكتل الحديدية الثقيلة او اجزاء المكنات ، التى يبلغ وزنها عشرات الاطنان ، تنقل بواسطة هذه الاوناش المغنطيسية الرافعة ، بدون شد او تثبيت . وبنفس الطريقة تقوم هذه الاوناش بنقل رزم الصفائح



شكل ٩٢ : ونش مغنطيسى كهربائى يحمل كومة من القطع الحديدية .



شكل ٩٣ : ونش مغنطيسى كهربائى يحمل كتلة حديدية هائلة .

المعدنية والاسلاك والمسامير وقراضة الحديد وغيرها من المواد ، بدون ان تعبأ في صناديق ، الامر الذى يوفر لنا كثيرا من الجهد ، الذى يبذل عند نقلها بطريقة اخرى .

ويبين الشكلان ٩٢ و٩٣ ، الخدمات المفيدة التى يقدمها لنا المغنطيس . لقد كنا سنتجشم كثيرا من العناء فى جمع ونقل كومة القطع الحديدية ، التى جمعها ونقلها على الفور ذلك الونش المغنطيسى الجبار ، المبين فى الشكل ٩٢ . ولا تتلخص الفائدة هنا فى توفير القوى فحسب ، بل وفى تسهيل العمل ايضا . ويوضح الشكل ٩٣ كيف ينقل الونش المغنطيسى بكل سهولة ، كتلة حديدية هائلة دون شد او تثبيت . ان وجود اربعة اوناش مغنطيسية ، يحمل كل منها عشرة من قضبان السكة الحديدية دفعة واحدة ، يعوض عن الجهد اليدوى الذى يبذله ٢٠٠ عامل ، فى مصنع واحد من مصانع الميتالورجيا . ولا حاجة للتفكير بشد او ربط هذه الاحمال الى الونش الرافع ، وذلك لانه طالما كان التيار الكهربائى مارا فى ملف المغنطيس الكهربائى ، فليس هناك خوف من سقوط اية شظية من ذلك الونش .

ولكن اذا توقف التيار عن المرور فى الملف لسبب ما ، فلا بد من وقوع حادثة مؤسفة . وقد وقعت مثل هذه الحوادث فى بداية الامر . وذات مرة طالعتنا احدى المجلات العلمية بما يلى :

« كان المغنطيس الكهربائى فى احد المصانع الامريكية ، يرفع السبائك الحديدية من عربات القطار ، ويلقيها فى الفرن . وفجأة ، حدث خلل طارئ فى محطمة توليد القوى الكهربائية ، الواقعة بالقرب من شلالات نياجارا ، والتى تمد المغنطيس بالتيار الكهربائى ، الامر الذى أدى الى انقطاع التيار . وهنا انفصلت كتلة معدنية عن المغنطيس الكهربائى ، وسقطت بكل ثقلها على رأس احد العمال . ولكى نمنع تكرر مثل هذه الحوادث المؤسفة ، وللتقليل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة ، يجب ان نلحق بالمغنطيس الكهربائى بعض الترتيبات الخاصة . فبعد ان يقوم المغنطيس برفع المواد المراد نقلها ، تتدلى من جانبه كماشات فولاذية قوية ، ما تلبث ان تحيط

بالحمل ثم تقفل باحكام ، وتقوم فيما بعد باسناد الحمل ومنعه من السقوط ، وخلال عملية النقل يقطع التيار الكهربائي بغية الاقتصاد في الطاقة » .

والشكلان ٩٢ و٩٣ يبينان نوعين من المغنطيس الكهربائي ، يصل قطر كل منهما الى ١,٥ م ، مع قابليته لرفع حمل يصل وزنه الى ١٦ طنا . ان مثل هذا المغنطيس ينقل في اليوم الواحد اكثر من ٦٠٠ طن من الاحمال . وتوجد مغنطيسات كهربائية ، يمكن ان ترفع حملا يزن ٧٥ طنا ، دفعة واحدة ، اى تكون بمثابة قاطرة بخارية !

وعند التأمل في هذا العمل ، الذى تقوم به المغنطيسات الكهربائية ، قد تتبادر الى ذهن بعض القراء فكرة ، مفادها ان نقل السبائك الحديدية الحامية ، بواسطة المغنطيسات الكهربائية ، سيكون من الامور السهلة للغاية ! ولكن للاسف ، ان هذا الامر ممكن فقط عند درجة حرارة محددة . ذلك لان الحديد الحامى (المسخن حتى الاحمرار) ، يفقد خواصه المغنطيسية الظاهرة بوضوح . واذا سخن المغنطيس الى ٨٠٠° مئوية ، فانه يفقد خواصه المغنطيسية في الحال .

ان المغنطيسات الكهربائية تستخدم في مصانع تشغيل المعادن ، استخداما واسع النطاق ، لتثبيت ونقل المصنوعات الفولاذية والحديدية ومصنوعات حديد الزهر . وقد تم تصميم مئات الانواع المختلفة من نماذج المغنطيسات الكهربائية ، التي تسهل وتعجل العمليات الصناعية .

الخدع المغنطيسية

ان قوة المغنطيس الكهربائي ، تستخدم احيانا للقيام ببعض الخدع ؛ ويمكن بسهولة ، تصور تلك الخدع المؤثرة ، التي يمكن القيام بها بمساعدة هذه القوة الخفية . ويروى لنا « دارى » مؤلف الكتاب المشهور في ذلك الوقت « الكهرباء ومجالات استخدامها » ، القصة التالية ، التي حدثه بها مشعوذ فرنسي ، وتدور حول عرض قدمه ذلك المشعوذ في الجزائر . وقد ترك ذلك العرض في نفوس الجماهير غير الملمة بعلم الهندسة الكهربائية ، انطباعا لا يقل عن الانطباع الذى يتركه السحرة .

« ويتحدث المشعوذ فيقول : وضعت على المسرح صندوقا حديديا صغيرا ، ركبت أطرافه بقلابات ، وله مقبض مثبت على الغطاء . ودعوت شخصا قويا من المتفرجين ، ليتقدم الى المسرح ، وقد لبى دعوتى شاب عربى متوسط القامة ، قوى البنية ، كان بمثابة هرقل عربى . وصعد الى المسرح بنشاط وهو يبتسم بتهكم ، ثم وقف بالقرب منى .

وسألته وانا اتفحصه من قدميه الى رأسه ؟

– هل انت قوى جدا ؟

فأجاب على الفور :

– نعم .

– وهل انت واثق من قوتك دائما ؟

– اننى واثق من ذلك تماما .

– انك مخطئ ، لاننى استطيع فى لحظة واحدة ، ان أسلبك قوتك ، فتصبح بعد ذلك ضعيفا مثل الطفل الصغير .

وابتسم الشاب العربى ، معبرا عن عدم ثقته فى كلامى .

وقلت له :

– تفضل هنا ، وارفع هذا الصندوق .

وانحنى الشاب العزبى ورفع الصندوق ، ثم سألنى :

– أهذا كل ما فى الامر ؟

فأجبته :

– تمهل قليلا .

وتظاهرت بالجد ، وأومأت باشارة آمرة ، ثم قلت بلهجة المنتصر :

– انك الان أضعف من المرأة . حاول ان ترفع الصندوق مرة أخرى .

وبدون ان يهتم الشاب القوى بسحرى ، حاول رفع الصندوق مرة ثانية ، ولكن الصندوق فى هذه المرة ، أبدى مقاومة ، وبغض النظر عن الجهود المستميتة التى بذلها

الشاب العربى ، بقى الصندوق ثابتا ، وكأنه تسمر فى محله . وحاول العربى رفع الصندوق بقوة كبيرة ، تكفى لرفع حمل ثقيل جدا ، ولكن جهوده ذهبت هباء . وبعد ان أعيته المحاولة وبدأ يلهث ، توقف اخيرا عن محاولته .

وربما بدأ الشاب العربى بعد ذلك ، يؤمن بقوة السحر » .

ان سر السحر الذى زاوله مندوب « المجتمع المتمدن » ، بسيط جدا . لقد كانت قاعدة الصندوق الحديدية ، موضوعة على منصة ، هى فى الحقيقة عبارة عن قطب لمغنطيس كهربائى قوى . وعند عدم وجود تيار كهربائى ، يسهل رفع الصندوق . ولكن ما ان يمرر التيار فى ملف المغنطيس الكهربائى ، الا ويصعب رفع الصندوق حتى من قبل ثلاثة رجال أقوياء .

استخدام المغنطيس فى الزراعة

والاكثر غرابة مما سبق ، هى الخدمة المفيدة التى يقدمها المغنطيس فى مجال الزراعة ، حيث يساعد المزارع على تخليص بذور المحاصيل الزراعية من بذور الطفيليات . ان لبذور الطفيليات شعيرات دقيقة ، تتعلق بأصواف الحيوانات المارة بقربها . وبفضل ذلك ، تنتشر الى مسافات بعيدة عن العشب الذى تكونت منه . وقد تمكن الخبراء الزراعيون من الاستفادة من هذه الخاصية ، التى ساعدت الطفيليات على تنازع البقاء خلال عدة ملايين من السنين ، لفصل البذور الشعرية للطفيليات عن البذور الملساء للنباتات النافعة ، مثل الكتان والبرسيم والفصفصة ، بواسطة المغنطيس . واذا ذررنا مسحوق الحديد على بذور المزروعات ، التى تحتوى على بذور الطفيليات ، فان دقائق مسحوق الحديد ستطوق بذور الطفيليات باحكام ، بدون ان تؤثر على البذور الملساء للمزروعات النافعة . وبعد تعريض الخليط المذكور لمجال مغنطيسى كهربائى قوى لدرجة كافية ، تنفصل البذور تلقائيا ، الى قسمين ، حيث يسحب المغنطيس بذور الطفيليات العالقة بدقائق مسحوق الحديد ، وتبقى بذور المزروعات النافعة وحدها ، خالية من الشوائب .

المكنة المغنطيسية الطائرة

قدمت فى بداية هذا الكتاب ، بعض المقتطفات من رواية الكاتب الفرنسى سيرانو دى برجراك « تاريخ حكومة على القمر والشمس » . ويوجد فى تلك الرواية ، وصف طريف لاحدى المكنات الطائرة ، التى يقوم عملها على اساس الجذب المغنطيسى ، وهى المكنة التى انطلقت بأحد ابطال الرواية ، فى رحلة الى القمر . وأقدم الى القراء فيما يلى ، ذلك الوصف كما جاء فى الرواية حرفيا :

« أمرت بصنع عربة خفيفة من الحديد . وحالما دخلت الى تلك العربة وجلست على المقعد براحة تامة ، قذفت كرة مغنطيسية الى ارتفاع كبير فوق رأسى . وارتفعت العربة توا الى الاعلى . وكلما اقتربت من ذلك المكان الذى جذبتنى اليه الكرة المغنطيسية ، قذفت الكرة الى الاعلى مرة اخرى . حتى اننى عندما كنت ارفع الكرة بيدى ، كانت العربة ترتفع ، محاولة الاقتراب من الكرة . وبعد قذف الكرة الى الاعلى عدة مرات ، وارتفاع العربة تبعا لذلك ، اقتربت من المكان الذى بدأ منه هبوطى على سطح القمر . وبما اننى كنت فى تلك اللحظة ماسكا الكرة المغنطيسية بيدى ، فقد التصقت العربة بى ولم تتركنى . ولتلافى التحطم عند الهبوط على سطح القمر ، بدأت بقذف الكرة الى الاعلى بنفس الطريقة السابقة ، وذلك لتخفيف سرعة هبوط العربة بتأثير جاذبية الكرة المغنطيسية . وعندما اصبحت على ارتفاع ٦٠٠ او ٧٠٠ ياردة عن سطح القمر ، اخذت أرمى الكرة بصورة عمودية على اتجاه الهبوط ، الى ان اصبحت العربة على مقربة تامة من سطح القمر . وهنا قفزت من العربة ، وهبطت على الرمل برفق » .

وبطبيعة الحال ، ليس هناك من لا يشك فى عدم صلاحية تلك المكنة الطائرة — حتى مؤلف الرواية بالذات . ولكننى لا اعتقد بان الكثيرين من القراء ، يستطيعون ان يبينوا بصورة صحيحة سبب عدم امكانية تحقيق مثل هذا المشروع . هل السبب هو عدم المقدرة على قذف المغنطيس عند وجود الانسان فى داخل العربة الحديدية ؟ ام عدم انجذاب العربة نحو المغنطيس ؟ ام لأى سبب آخر ؟

ان باستطاعة الانسان قذف المغنطيس الى الاعلى . وسيؤدى المغنطيس بدوره الى جذب العربة ، اذا كان قويا لدرجة كافية ، ولكن مع ذلك سوف لن ترتفع العربة الى الاعلى ولو قيد شعرة. هل حدث ان قام القارئ برمي جسم ثقيل الى الساحل، اثناء وجوده في قارب ؟ لا شك ان يكون القارئ قد لاحظ فى هذه الحالة ، بان القارب بالذات يندفع مبتعدا عن الساحل . ان عضلات الانسان التى تدفع الجسم المرمى ، فى اتجاه معين ، تدفع فى الوقت نفسه ، جسم الانسان (والقارب معه) فى الاتجاه المعاكس . وهنا يظهر قانون تساوى الفعل ورد الفعل،الذى تحدثنا عنه عدة مرات. ويحدث نفس الشيء عند قذف المغنطيس الى الاعلى ، لانه عندما يقوم الشخص الجالس فى العربة ، بقذف الكرة المغنطيسية الى الاعلى (يبذل جهود كبيرة ، وذلك لان الكرة تنجذب نحو العربة) فانه لا بد وان يدفع العربة برمتها الى الاسفل . وبعد ذلك ، عندما تقترب الكرة والعربة من بعضهما بالتجاذب المتبادل ، فانهما تعودان الى مكانيهما السابقين فقط . ويتضح من ذلك ، انه حتى لو كانت العربة عديمة الوزن ، فسوف لا ينتج عن قذف الكرة الى الاعلى ، سوى تأرجح العربة الى الاعلى والاسفل ، حول نقطة تعادل معينة . وهكذا لا نستطيع بهذه الطريقة ان نجعل العربة تتحرك الى الاعلى حركة انتقالية .

وعندما ألف سيرانو دى برجراك روايته هذه (فى منتصف القرن السابع عشر)، لم يكن قانون الفعل ورد الفعل قد اكتشف بعد . ولهذا السبب بالذات ، نشك فى ان المؤلف الفرنسى كان قادرا على تفسير سبب افلاس مشروعه الساخر .

السلسلة الحديدية المنتصبة عموديا على الارض !

وقعت ذات مرة حادثة طريفة ، اثناء تشغيل ونش مغنطيسى كهربائى رافع . فقد لاحظ احد العمال بان المغنطيس الكهربائى رفع كرة حديدية ثقيلة ، كانت مثبتة فى الارض بسلسلة حديدية قصيرة ، منعت الكرة من الالتصاق التام بالمغنطيس . وبقيت بين الكرة والمغنطيس مسافة تقدر بعرض راحة اليد . وكان المشهد غريبا ، حيث انتصبت السلسلة الحديدية عموديا على الارض ! وقد كان المغنطيس قويا الى درجة

جعلت السلسلة تحافظ على وضعها العمودى على الارض ، حتى عندما تسلق عليها ذلك العامل * وقد أسرع احد المصورين القريبين من موقع الحادث ، بالتقاط صورة لذلك المشهد الرائع (شكل ٩٤) ، وقد ظهر فى الصورة العامل المذكور وهو معلق فى الهواء .



شكل ٩٤ : سلسلة حديدية منتصبة الى الاعلى مع الثقل المربوط فيها.

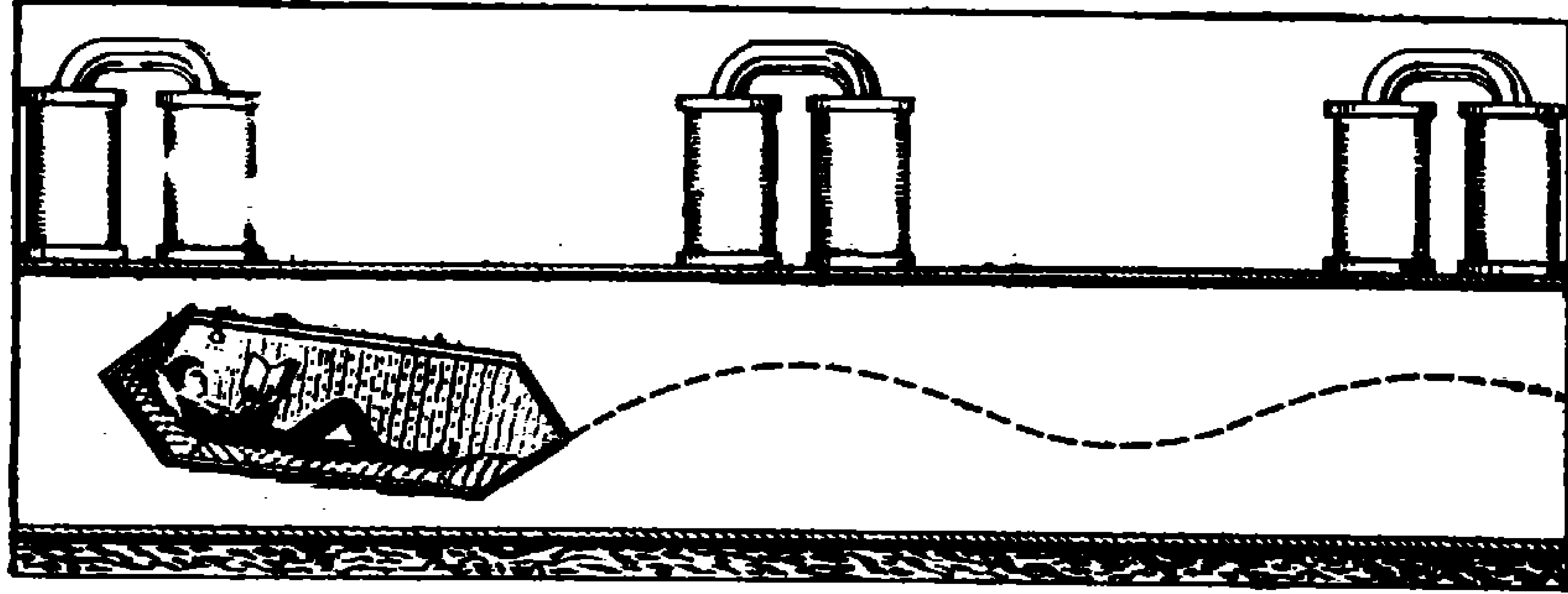
النقل المغنطيسى الكهربائى

لقد وضع العالم الفيزيائى السوفييتى واينبرج ، مشروعا للنقل المغنطيسى الكهربائى . ولاحتواء هذا المشروع على فكرة علمية جيدة ، رأينا ان نقدمه للقراء فيما يلى ، لانه جدير باطلاع كل من يهتم بعلم الفيزياء .

ان عربات السكة الحديدية ، التى اقترح البروفيسور واينبرج انشاءها ، ستكون عديمة الوزن تماما ، حيث يتلاشى وزنها بتأثير جاذبية المغنطيس الكهربائى . ولذلك ، يجب الا يندهش القارئ ، اذا علم بان العربات – حسب التصميم الموضوع – سوف لا تسير على السكة الحديدية ، ولا تطفو على سطح الماء ، وحتى لا تحلق فى الجو ،

---

* ان هذا يدل على قوة المغنطيس الكهربائى الهائلة ، لان قوة جذب المغنطيس تقل كثيرا ، كلما زادت المسافة بين القطب المغنطيسى والجسم المجذوب . ان المغنطيس المصنوع على هيئة حدوة الفرس ، والذى يمكن ان يرفع ثقلا قدره ١٠٠ جم بالتماس المباشر ، يفقد نصف قوته عندما توضع بينه وبين الثقل المذكور ، قطعة من الورق . ولهذا السبب لا يطلى طرفا المغنطيس بالدهان ، مع ان الدهان يحافظ عليهما من الصدأ .



شكل ٩٥ : عربة تتحرك بدون احتكاك . لقد صمم هذه السكة الحديدية البروفيسور واينبرج .

ولكنها سوف تطير بدون ان يكون لها مسند ، وبدون ان تلامس اى شئ كان ، حيث ستعلق بالخطوط الخفية للقوى المغنطيسية الجبارة . وسوف لا تتعرض الى اى احتكاك مهما كان قليلا ، وبالتالى فانها اذا تحركت ، فسوف تحافظ على سرعتها بالقصور الذاتى ، بدون حاجة الى قاطرة تسحبها .

ويتم تحقيق ذلك بالطريقة التالية : تتحرك العربات فى داخل ماسورة نحاسية ، مفرغة من الهواء ، للتخلص من مقاومته لحركة العربات . ويتلاشى الاحتكاك مع القاعدة ، لان العربات فى هذه الحالة ، تتحرك بدون ان تلامس جدران الماسورة ، وذلك لانها ثابتة على وضعها فى الفراغ ، بقوة المغنطيس الكهربائى . ولهذا الغرض ، وضعت فوق الماسورة ، بمحاذاة الطريق كله ، عدة مغنطيسات قوية للغاية ، مرتبة على مسافات معينة من بعضها البعض . وهذه المغنطيسات تجذب اليها العربات الحديدية ، المتحركة فى داخل الماسورة ، وتمنعها من السقوط . وقد جرى حساب قوة المغنطيسات ، بحيث تحافظ على بقاء العربة المتحركة فى داخل الماسورة ، معلقة بين « سقف » الماسورة و « أرضيتها » ، بدون ان تلامس هذا او تلك . ان المغنطيس الكهربائى يجذب العربة المتحركة تحته ، الى الاعلى — ولكن العربة لن تصطدم بالسقف ، لان قوة الجاذبية الارضية تسحبها الى الاسفل . ولكن ما ان تقترب لتلامس أرضية الماسورة ، حتى ترفعها جاذبية المغنطيس الكهربائى الاخر ، وهلم جرا . وهكذا نرى ان العربة

الواقعة تحت تأثير المغنطيسات الكهربائية باستمرار ، تسير فى الفراغ على خط متموج ، بدون احتكاك وبلا رجات ، مثلما تسبح الارض فى الفضاء الكونى .

والآن ، لنر ما هو شكل العربة ؟ ان العربة عبارة عن اسطوانة تشبه السيجار ، يبلغ ارتفاعها ٩٠ سم ، وطولها ٢,٥ م تقريبا . والعربة مقفلة باحكام بطبيعة الحال — لانها تتحرك فى جو مفرغ من الهواء — ومزودة بأجهزة أتوماتيكية لتنقية الهواء ، كما هو الحال فى الغواصات .

وكذلك تختلف طريقة تسيير العربات على خطوطها ، اختلافا تاما عما عهدناه حتى الآن ، حيث لا تقارن الا بطريقة اطلاق قذيفة المدفع . وفى حقيقة الامر ، فان هذه العربات « تطلق» مثل القذيفة تماما ، ولكن من « مدفع » مغنطيسى كهربائى . ويتم انشاء محطات الانطلاق على اساس الخاصية المتمثلة فى قابلية الملف اللولبى المزود بالطاقة الكهربائية ، لسحب قضيب حديدى الى داخله ، بسرعة كبيرة جدا ، تزداد بزيادة طول الملف وقوة التيار . وهذه هى القوة التى ستقوم باطلاق العربات ، فى هذا الطريق المغنطيسى الجديد . ولما كان الاحتكاك معدوما فى داخل النفق ، فان سرعة العربات سوف لا تقل ، وستبقى منطلقة بقصورها الذاتى ، حتى يوقفها الملف اللولبى للمحطة المقصودة .

ونقدم الى القراء فيما يلى ، بعض التفصيلات ، التى نشرها مصمم هذا المشروع :

« ان التجارب التى اجريتها فى الفترة الواقعة بين عامى ١٩١١ و ١٩١٣ ، فى مختبر الفيزياء التابع للمعهد التكنولوجى فى مدينة تومسك ، تمت باستخدام ماسورة نحاسية قطرها ٣٢ سم ، وضعت فوقها مغنطيسات كهربائية ، توجد تحتها عربة صغيرة مسندة ، بلغ وزنها ١٠ كجم — وهى عبارة عن قطعة من ماسورة حديدية ، مزودة بعجلات صغيرة من الامام ومن الخلف ، ولها مقدمة مخروطية تستخدم لايقافها ، وذلك باصطدامها بلوحة خشبية مستندة الى كيس مملوء بالرمل . ولم يكن من المستطاع تسيير العربة الصغيرة ، بسرعة تزيد على ٦ كم/ساعة ، وذلك لضيق مساحة الغرفة ، وقلة محيط الخط الدائرى الماسورى (بلغ قطر الدائرة الماسورية ٦٫٥ م) . وعلى الرغم

من ذلك ، يمكن منح العربة حسب المشروع الذى صممته ، سرعة تتراوح بين ٨٠٠ ــ ١٠٠٠ كم/ساعة ، عندما يبلغ طول الملفات اللولبية ٣ اميال . ونظرا لعدم وجود الاحتكاك مع ارضية الطريق او سقفه ، فسوف لا نحتاج الى صرف اية طاقة للمحافظة على السرعة المذكورة .

وبغض النظر عن ارتفاع تكاليف انشاء مثل هذا الطريق ، وخاصة تكاليف الماسورة النحاسية ، سوف لا تخصص اية مبالغ للمحافظة على السرعة الابتدائية للعربة ، او لاستخدام سائق او جباة وغير ذلك ، وسوف لا تزيد تكاليف الكيلومتر الواحد من هذا الخط على ما يتراوح بين عدة آلاف ومئة او مئتين من الكوبيكات ، فى الوقت الذى يمكن فيه نقل ١٥٠٠٠ مسافر او ١٠٠٠٠ طن من الاحمال فى اليوم الواحد ، فى اتجاه واحد ، باستخدام خط مكون من ماسورتين » .

قتال بين سكان المريخ وسكان الارض

يروى العالم الرومانى القديم بلينى احدى القصص الشائعة فى عصره ، عن صخرة مغنطيسية كبيرة توجد فى مكان ما من الهند ، على ساحل احد البحار . وكانت هذه الصخرة تجذب اليها كل المواد الحديدية ، بقوة هائلة . وكانت الكوارث تحل بكل بحار يجرأ على الاقتراب بسفينته من تلك الصخرة ، لانها كانت تنتزع من السفينة كل المسامير والمشابك الحديدية الموجودة فيها ، وتؤدى بذلك الى تفكك الالواح الخشبية للسفينة وغرقها فى البحر . وقد اصبحت هذه القصة فيما بعد ، احدى قصص الف ليلة وليلة .

وما هذه القصة فى الواقع ، الا اسطورة خرافية .

من البديهى اننا نعلم الان بان الجبال المغنطيسية ، اى تلك الجبال الغنية بمادة المنغنيتيت ، موجودة بالفعل . ونتذكر بهذه المناسبة الجبل المغنطيسى الشهير فى الاورال ، حيث تشمخ الافران العالية لمدينة مغنيتوجورسك السوفييتية . ولكن قوة جذب مثل هذه الجبال ، ضعيفة للغاية ، بل معدومة تقريبا . اما الجبال او الصخور ،

التى تحدث عنها العالم الرومانى بلينى ، فلم يكن لها وجود على سطح الكرة الارضية مطلقا . واذا كانت بعض السفن تصنع فى الوقت الحاضر ، بدون اجزاء حديدية او فولاذية ، فليس ذلك خوفا من الصخور المغنطيسية ، بل لدراسة طبيعة المغنطيس الارضى ، بطريقة سهلة .

ان السفينة السوفييتية « زاريا » ، التى شاركت فى تنفيذ برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية ، فى الفترة الواقعة بين عامى ١٩٥٧ و ١٩٥٩ ، كانت مصنوعة برمتها ، من مواد لا تتأثر بالمغنطيس، حيث استبدل الفولاذ والحديد ، بالنحاس والبرونز والالمنيوم وغيرها من المعادن غير المغنطيسية .

وقد استفاد مؤلف الروايات العلمية كورت لاسفيتس من فكرة اسطورة بلينى - فى العمل على اختراع سلاح حربى خطير ، يلجأ القادمون من المريخ — فى رواية المؤلف المعنونة بـ « على سطح كوكبين » — الى استخدامه فى القتال مع جيوش الكرة الارضية . وبواسطة هذا السلاح المغنطيسى (او بالاحرى المغنطيسى الكهربائى) ، لا يعمد سكان المريخ الى القتال المباشر مع سكان الارض ، بل يقومون بنزع سلاح جيوش الارض ، قبل الالتحام معها فى اى قتال .

واليكم مشهد القتال بين سكان المريخ وسكان الارض ، كما يصفه لنا مؤلف الرواية :

« وتقدمت صفوف الفرسان الزاهية مندفعة الى الامام بثبات وعزم . وكان يظهر ان عزمهم المتفانى قد جعل أعداءهم الجبابرة — سكان المريخ — يتهيأون للانسحاب ، وذلك لاضطراب تحليق سفنهم الفضائية ، وطيرانها بتشكيلات جديدة ، حيث حلقت فى اعالى الجو ، وكأنها تلوذ بالفرار .

ولكن فى نفس الوقت ، هبط من السماء غطاء من مادة داكنة سوداء ، وأصبح للتو يظلل ساحة القتال ، تحيط به السفن الفضائية من جميع الجهات ، وما ان وقع الصف الاول من الفرسان تحت تأثير هذه المكنة الغريبة ، حتى امتد تأثيرها فى الحال ، الى بقية الفوج بأجمعه . وقد كان ذلك التأثير غير متوقع ، وعلى درجة كبيرة من الفظاعة !

ولقد شقت صيحات الرعب عنان السماء ، وتبعثر الفرسان مع خيولهم في ساحة القتال ، وتشبع الجو بغيوم كثيفة من الحراب والسيوف والبنادق ، التى طارت الى الاعلى مصحوبة بقرقعة هائلة ، والتصقت بتلك المكنة الغريبة .

ثم انحرفت المكنة مبتعدة الى مسافة قليلة عن ساحة القتال ، وألقت بكل ما تحملها من أسلحة على الارض . وعادت الى الساحة مرتين اخريين ، وجمعت كل الاسلحة الموجودة هناك على الاطلاق . ولم تستطع أية يد ، مهما كانت قوية ، ان تحتفظ بالسيف او الرمح ، الذى تمسك به . وكانت هذه المكنة ، عبارة عن اختراع جديد ، حققه سكان المريخ . وقد جذبت اليها بقوة لا تقهر ، كل المواد المصنوعة من الحديد والفولاذ . وقد تمكن سكان المريخ ، بواسطة هذا المغنطيس الطائر فى الهواء ، ان ينتزعوا الاسلحة من ايدى سكان الارض ، بدون ان يسببوا لها اى أذى .

وانطلق المغنطيس الطائر الى ابعد من ذلك ، واقترب من فرق المشاة . وحاول الجنود التشبث بأسلحتهم بكل ما لديهم من القوة ، ولكن جهودهم ذهبت هباء ، حيث انتزعت قوة المغنطيس الخارقة ، الاسلحة من ايديهم . وكثير من الجنود الذين استطاعوا مع ذلك ان يحتفظوا بأسلحتهم فى ايديهم ، طاروا فى الفضاء مع اسلحتهم ، منجذبين نحو المغنطيس . وخلال عدة دقائق ، كانت اسلحة الفوج الاول بأجمعه ، قد انتزعت من ايدى الجنود . وانطلقت المكنة بعد ذلك ، تلاحق الافواج الاخرى السائرة فى طرقات المدينة ، لتعد لهم نفس الاستقبال الرهيب .

وقد تعرضت المدفعية لنفس المصير ، الذى حل بالجيوش السابقة » .

الساعات والمغنطيسية

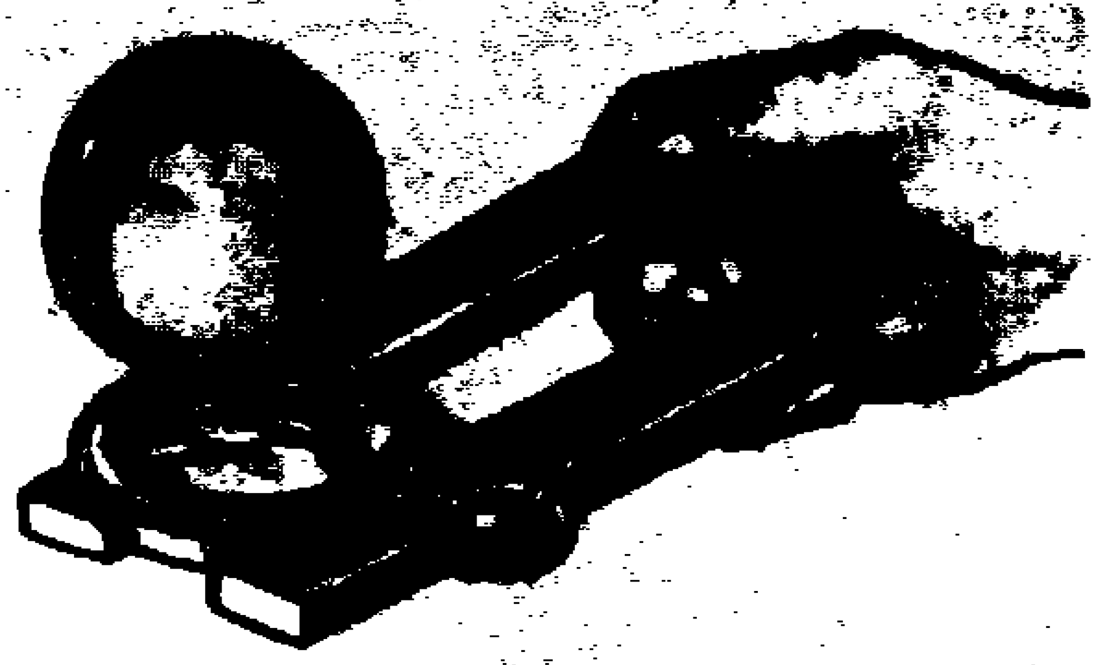
عند مطالعة الموضوع السابق ، سيتبادر الى ذهن القارئ حتما السؤال التالى : ألا يمكن وقاية المواد الحديدية من تأثير القوى المغنطيسية ، بتغطيتها بحاجز لا تخترقه تلك القوى ؟

ان هذا ممكن تماما ، وكان بالامكان جعل السلاح المغنطيسى لسكان المريخ ، عديم الفائدة ، لو اتخذت التدابير الوقائية مسبقا .

ومن الغريب جدا ، ان تكون المادة التى لا تخترقها القوى المغنطيسية ، هى نفس المادة الحديدية ، التى تتمغنط بسهولة ! ان ابرة البوصلة ، الموضوعة داخل حلقة حديدية ، لا تتأثر بالمغنطيس ، الموجود خارج تلك الحلقة .

ويمكن حماية الاليات الفولاذية الدقيقة لساعة الجيب ، من تأثير القوى المغنطيسية ، باستخدام علبة حديدية (غلاف حديدى) . واذا وضعنا سلعة ذهبية على قطبى مغنطيس قوى على هيئة حدوة الفرس (شكل ٩٦) ، فان كافة الاجزاء الفولاذية لآلية الساعة ، وقبل كل شئ زنبركها الشعرى الدقيق ، ستتمغنط فى الحال ، وسوف لا تعمل الساعة بصورة صحيحة * . وعند ابعاد المغنطيس ، لا تعود الساعة الى حالتها السابقة ، لان الاجزاء الفولاذية لآليتها تبقى ممغنطة ، وتصبح الساعة بحاجة الى اصلاح جذرى ، بتبديل اجزاء كثيرة من اليتها ، بأجزاء اخرى جديدة . ولهذا السبب ، لا يجوز اجراء مثل هذه التجربة ، باستخدام ساعة ذهبية ، لانها ستكلف ثمنا باهظا .

وعلى العكس من ذلك ، يمكن اجراء مثل هذه التجربة ، باستخدام ساعة تكون آليتها مغطاة باحكام ، بغطاء حديدى او فولاذى ، وذلك لان القوى المغنطيسية لا تخترق الحديد او الفولاذ . واذا قربنا مثل هذه الساعة من ملف مولد كهربائى قوى جدا ، فان ذلك سوف لا يؤثر على عمل الساعة مطلقا . ان هذه الساعات الحديدية الرخيصة ، تعتبر ساعات مثالية بالنسبة للعمال والمهندسين الكهربائيين ، فى الوقت الذى تتعطل فيه الساعات الذهبية او الفضية ، نتيجة لتأثير القوى المغنطيسية .



شكل ٩٦ : ما الذى يحول دون تمغنط آلية الساعة الحديدية .

* الا اذا لم يكن هذا الزنبرك الشعرى مصنوعا من سبيكة خاصة تسمى بالانفار ، وهى سبيكة لا تتمغنط ، ولو ان الحديد والنيكل يدخلان فى تركيبها .

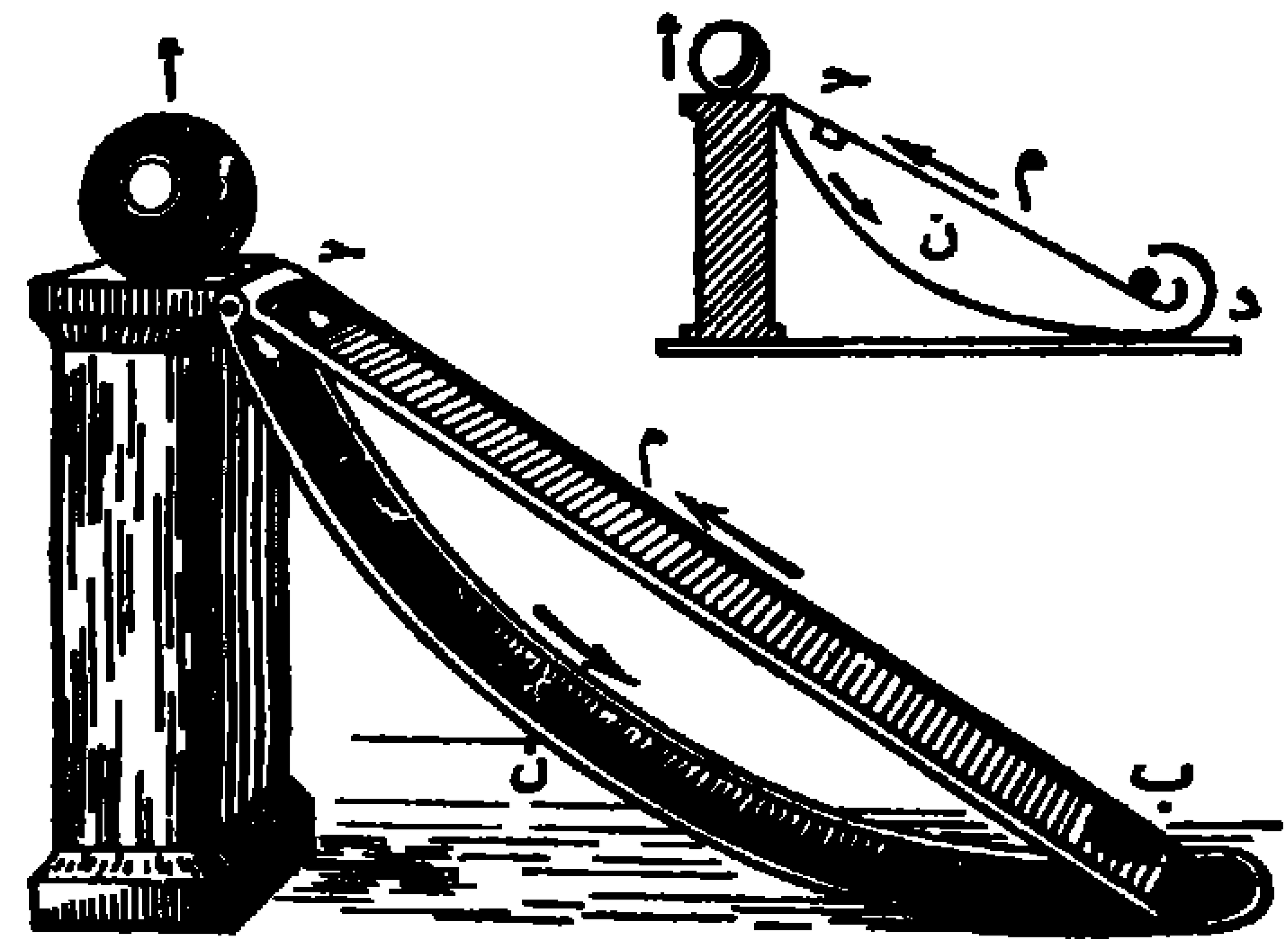
المحرك المغنطيسي «الدائم الحركة»

لقد لعب المغنطيس دورا مهما فى محاولات اختراع المحرك « الدائم الحركة » . وقد حاول المخترعون الفاشلون ، بكل ما فى وسعهم من جهود ، استخدام المغنطيس لتصميم وانشاء آلية ذاتية الحركة . ونقدم الى القراء الان تصميم احدى هذه الآليات (كما وصفه الاسقف الانكليزى جون ويلكونسن ، فى القرن السابع عشر) .

نضع المغنطيس القوى أ ، فوق عمود صغير ، كما هو مبين فى الشكل ٩٧ . وقد اسندت الى العمود ، قناتان م و ن ، وضعت احداهما فوق الاخرى . وتحتوى القناة العليا على فتحة صغيرة حـ فى القسم العلوى ، اما القناة السفلى ، فهى مقوسة الشكل . وكانت فكرة المخترع كما يلى : اذا وضعنا على القناة العليا ، كرة حديدية صغيرة ب ، فسوف تتدحرج الكرة الى الاعلى ، نتيجة لجذب المغنطيس أ . ولكنها عندما تصل الى الفتحة حـ ، تسقط منها الى القناة السفلى ن ، وتتدحرج الى الاسفل ، حتى تدخل فى طرفها المقوس د ، وتهبط على القناة العليا م ، فيجذبها المغنطيس أ الى الاعلى ، حيث تسقط فى الفتحة حـ وتصل الى القناة السفلى ثم تتدحرج الى الاسفل ، وتدخل فى الطرف المقوس لهذه القناة ، حيث تهبط على القناة العليا ، فيجذبها المغنطيس الى الاعلى من جديد ، لتعاود حركتها على هذا المنوال . وبهذه الطريقة ، ستستمر الكرة فى حركتها الى الاعلى والاسفل ، فنحصل بذلك على « حركة دائمية » .

أين يكمن الخطأ الذى وقع فيه المخترع ؟

ان من السهل الاشارة الى هذا الخطأ لماذا تصور المخترع بان الكرة المتدحرجة على القناة ن ، الى طرفها السفلى ، ستنطلق بعدئذ بسرعة كافية ، تمكنها من الارتفاع الى الاعلى ، عن طريق الطرف المقوس د ؟ كان من الممكن ان يحدث ذلك ،



شكل ٩٧ : محرك خيالى « دائم الحركة » .

لو كانت الكرة تتدحرج بتأثير الجاذبية الارضية وحدها ، حيث كانت ستتدحرج بتسارع معين . ولكن هذه الكرة واقعة تحت تأثير قوتين ، وهما قوة الجاذبية الارضية وقوة جذب المغنطيس . ومن المفروض فى قوة المغنطيس ان تكون كبيرة جدا ، بحيث يمكنها رفع الكرة من النقطة ب الى النقطة حـ . ولهذا ، فان الكرة سوف لا تتدحرج على القناة ن ، بتسارع ، بل بتباطؤ ، وحتى فى حالة وصولها الى الطرف السفلى للقناة ، فانها على كل حال لن توفر سرعة كافية لتسلق الطرف المقوس د . وقد ظهرت نماذج متنوعة عديدة من هذا المشروع ، من وقت لآخر .

ومن الغريب جدا ان احد هذه المشاريع المماثلة ، قد سجل رسميا فى المانيا عام ١٨٧٨ ، اى بعد ثلاثين عاما من اكتشاف قانون حفظ الطاقة ! وقد اخفى المخترع بدهاء ، الفكرة الاساسية السخيفة لمحركه المغنطيسى « الدائم الحركة » ، بحيث استطاع تضليل اعضاء اللجنة الفنية المسئولة عن منح براءات الاختراع .

وبالرغم مما يقره النظام ، من ان البراءات يجب الا تمنح للاختراعات التى تتعارض مبادئها وقوانين الطبيعة ، الا ان الاختراع المذكور كان قد سجل رسميا فى سجلات الدولة . وعلى كل حال ، فان صاحب براءة الاختراع ، الوحيدة من نوعها فى العالم ، قد اصيب بخيبة أمل فى اختراعه هذا ، حيث توقف عن دفع الرسوم بعد مرور عامين فقط . وبذلك فقدت براءة الاختراع الطريفة مفعولها القانونى الذى يخول جميع الناس الاستفادة من ذلك « الاختراع » . ولم يكن أحد من الناس فى يوم ما ، بحاجة الى ذلك الاختراع مطلقا .

مسألة من المتحف

كثيرا ما تدعو الحاجة خبراء المتاحف ، الى مراجعة وقراءة بعض المخطوطات القديمة جدا والمتهرئة التى تتمزق عند أقل محاولة لتقليب صفحاتها وفصلها عن بعضها . كيف يمكن القيام بفصل الصفحات عن بعضها فى هذه الحالة ؟

يوجد فى اكاديمية العلوم السوفييتية ، مختبر لتجديد الوثائق ، تحل فيه مثل

هذه المسائل . وفى مثل حالتنا السابقة ، يقوم الفنيون فى هذا المختبر ، باستخدام الكهرباء لفصل صفحات تلك المخطوطات القديمة عن بعضها كما يلى : يمرر التيار الكهربائى فى المخطوطة المراد تقليب صفحاتها ، وعندئذ تتنافر الصفحات المشحونة بشحنات متماثلة ، وتنفصل عن بعضها بكل هدوء ، بدون ان تصاب بأى تمزق . وبعد ذلك يستطيع الشخص الخبير ، ان يفصل الاوراق عن بعضها بسهولة ، ويلصقها على ورق مقوى .

محرك آخر موهوم من المحركات «الدائمة الحركة»

فى السنوات الاخيرة ، حصلت فكرة ربط المولد بالموتور الكهربائى ، على شعبية واسعة لدى الباحثين عن المحرك الدائم الحركة . ويأتى الى فى كل سنة حوالى ستة من هؤلاء الباحثين ، يعرضون على تصاميم محركاتهم هذه . ويخرج هؤلاء جميعا بنتيجة واحدة وهى : يجب ربط بكرة المولد ببكرة الموتور الكهربائى بواسطة سير ، وربط موصلات المولد بموصلات الموتور الكهربائى . والفكرة ، هى انه اذا اكسبنا المولد دفعة أولية ، فان التيار الناتج عن ذلك ، يسرى فى الموتور الكهربائى ويحركه ، ثم تنتقل الطاقة الحركية للموتور الى بكرة المولد بواسطة السير ، الامر الذى يجعل المولد يتحرك . وبهذه الطريقة — كما يتصور المخترعون — ستحرك كل مكنة ، المكنة الاخرى ، وتستمر هذه الحركة الى ما لا نهاية ، حتى تبلى المكنتان .

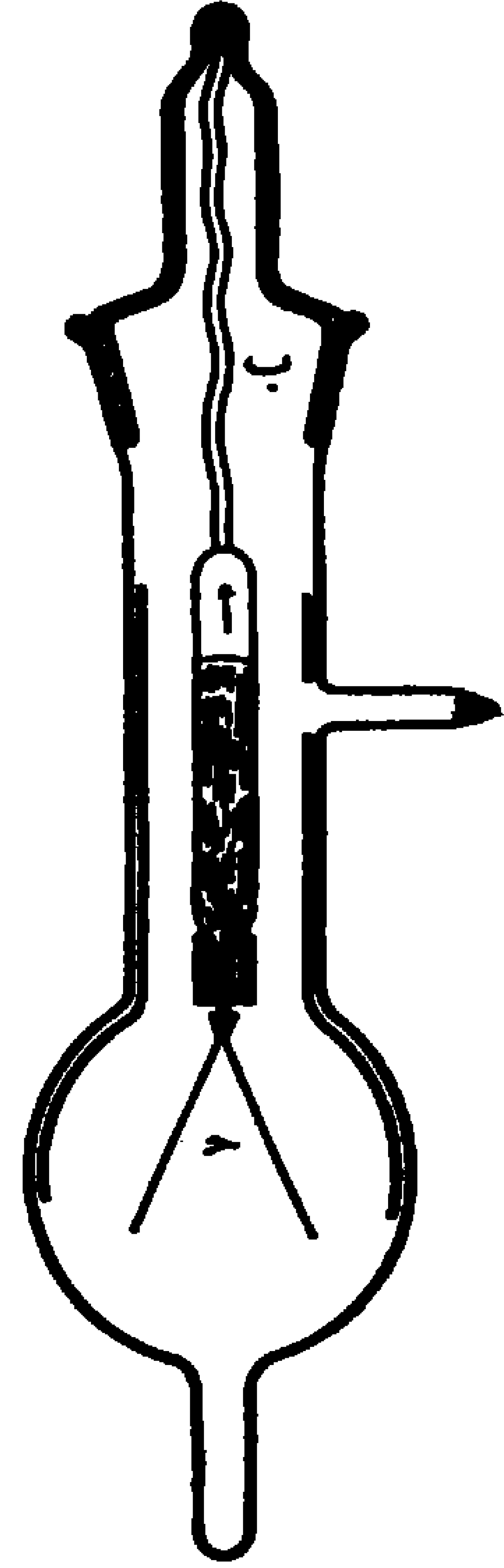
ان هذه الفكرة تبدو امام المخترعين ، بحلة مغرية جدا . ولكن كل من حاول تحقيقها عمليا ، دهش عندما تأكد له بالذات ، بان اية مكنة من هاتين المكنتين لن تعمل فى مثل هذه الظروف . وليس فى وسع الانسان ان ينتظر من هذا المشروع اكثر من ذلك . وحتى اذا فرضنا بان معامل كفاية كل مكنة من المكنتين المربوطتين يساوى ١٠٠ ٪ ، لما تمكنا من جعلهما تتحركان بالطريقة المذكورة ، الا بعد التخلص من الاحتكاك كليا . ان ربط المكنتين المذكورتين — او تجميعهما كما يقول المهندسون — يؤدى فى الحقيقة الى تكوين مكنة واحدة ، يجب ان تحرك نفسها بنفسها . اما

عند عدم وجود الاحتكاك ، فان هذه المجموعة ستتحرك — كأية بكرة عادية — حركة دائمية ، ولكن بدون اية فائدة ترجى من هذه الحركة . لاننا اذا جعلنا هذا « المحرك » يقوم بأى عمل خارجي ، فانه سيتوقف فى الحال . وكنا سنحصل فى هذه الحالة على « حركة دائمية » وليس على محرك دائم الحركة . اما عند وجود الاحتكاك ، فان المجموعة المذكورة (المكنة المتكونة) لن تتحرك مطلقا . ومن الغريب ان الناس الذين تستهويهم هذه الفكرة ، لا يتطلعون الى تحقيقها بطريقة اسهل من طريقتهم المتبعة ، وذلك بلف سير حول اية بكرتين وتدوير احداهما . واذا انطلقنا من نفس المبدأ ، الذى استندنا اليه فى حالة تجميع المكنتين ، فيجب ان نتوقع قيام البكرة الاولى بتدوير البكرة الثانية . وبدوران البكرة الثانية ، تدور معها البكرة الاولى . ويمكن الاكتفاء ببكرة واحدة ، حيث نبدأ بتدويرها ، لنرى بعد ذلك بان نصفها الايمن سيقوم بتدوير النصف الايسر ويعمل النصف الايسر بدورانه ، على ادامة دوران النصف الايمن . وسخافة الفكرة واضحة ، فى الحالتين الاخيرتين ، ولذا فان مثل هذه المشاريع ، لا توحى لاحد باى شيء . ولكن فى حقيقة الامر ، نرى ان مصدر هذه المحركات الثلاثة « الدائمة الحركة » ، ينبع من نفس الفكرة الخاطئة .

محرك شبيه جدا بالمحرك «الدائم الحركة»

ان عبارة « شبه دائم » لا تمثل شيئا مغريا ، بالنسبة للرياضيات . لان الحركة اما ان تكون دائمية ، او غير دائمية ، وعبارة « شبه دائمية » تعنى فى الحقيقة غير دائمية . ولكن الامر ليس كذلك بالنسبة للحياة العملية . وربما كان الكثير من الناس ، سيشعر بالقناعة التامة ، عند الحصول لا على محرك « دائم الحركة » ، بل على محرك شبيه جدا بالمحرك الدائم الحركة ، يمكنه ان يعمل ولو لمدة ألف سنة مثلا . ان حياة الانسان قصيرة ، بحيث تصبح الالف سنة ، بمثابة « حياة دائمية » تقريبا ، بالنسبة لعمر الانسان . وربما سيعتقد الناس العمليون ، بان مسألة المحرك الدائم الحركة قد وجدت لها حلا ، ولا داعى للتفكير فيها بعد الآن .

ويمكن ان نبشر هؤلاء الناس بان المحرك الذى يعمل لمدة ألف سنة قد اصبح جاهزا فى الواقع ، ويستطيع كل شخص ان يحصل عليه ، بصرف مبلغ معين من النقود . ولم يحصل اى انسان على براءة اختراع هذا المحرك لحد الان ، وهو لا يحتوى على اية أسرار . لقد اخترع هذا الجهاز البروفيسور ستيرت فى عام ١٩٠٣ ، ويطلق عليه عادة اسم « الساعة الراديومية » ، وتركيبه بسيط للغاية (شكل ٩٨) . ويتكون من قنينة زجاجية مفرغة من الهواء ، وقد علقت فى داخلها أنبوبة زجاجية صغيرة أ ، بواسطة خيط من الكوارتز ب (ان الكوارتز عديم الموصلية للكهرباء) ، وتحتوى الانبوبة على بضعة أجزاء من الالف من الجرام من ملح الراديوم وقد علقت فى نهاية الانبوبة السفلى ، صفيحتان من الذهب ، كما هو الحال فى المكشاف الكهربائى (الالكتروسكوب) . والراديوم كما هو معروف ، يبعث ثلاثة انواع من الاشعة ، وهى أشعة « ألفا » و « بيتا » و « جاما » . وفى هذه الحالة ، تلعب الدور الرئيسى ، أشعة « بيتا » ، التى تخترق الزجاج بسهولة ، والمتكونة من تيار من الدقائق (الالكترونات) المشحونة بشحنات سالبة . ان هذه الدقائق التى يبعثها الراديوم فى جميع الاتجاهات ، تحمل معها الشحنات السالبة . ولذا ، فان الانبوبة المحتوية على الراديوم ، تشحن تدريجيا بالشحنة الموجبة . وتنتقل هذه الشحنة الموجبة الى الصفيحتين الذهبيتين ، وتؤدى الى انفراجهما . وعندما تنفرج الصفيحتان ، فانهما تلامسان جدران القنينة الزجاجية ، وتفقدان شحنتهما فى مواضع التلامس (تلصق على جدران القنينة فى مواضع التلامس ، اوراق مفضضة رقيقة ، لتنتقل الشحنة الكهربائية عن طريقها) ، ثم



شكل ٩٨ : ساعة راديومية يمكن اعتبارها « دائمية الحركة » تقريبا حيث يمكنها ان تعمل لمدة ١٦٠٠ سنة .

تعودان الى الانطباق من جديد . وسرعان ما تتكون شحنة جديدة ، تؤدى الى انفراج الصفيحتين مرة اخرى ، وبانفراجهما تفقدان هذه الشحنة ، فتعودان الى الانطباق ، وهنا تتزودان بالشحنة الكهربائية من جديد وهلم جرا . وفى كل دقيقتين او ثلاث تتذبذب الصفيحتان الذهبيتان ذبذبة واحدة ، مثلما يتذبذب بندول الساعة — ومن هنا جاءت تسمية هذا الجهاز بـ « الساعة الراديومية » . وتستمر هذه الذبذبات عشرات ومئات السنين ، حتى يتوقف الراديوم عن بعث أشعته المذكورة .

وهكذا يرى القارئ ، بان المحرك الذى امامه ، ليس محركا « دائم الحركة » مطلقا ، ولكنه من النوع الذى يعمل بالطاقة الممنوحة .

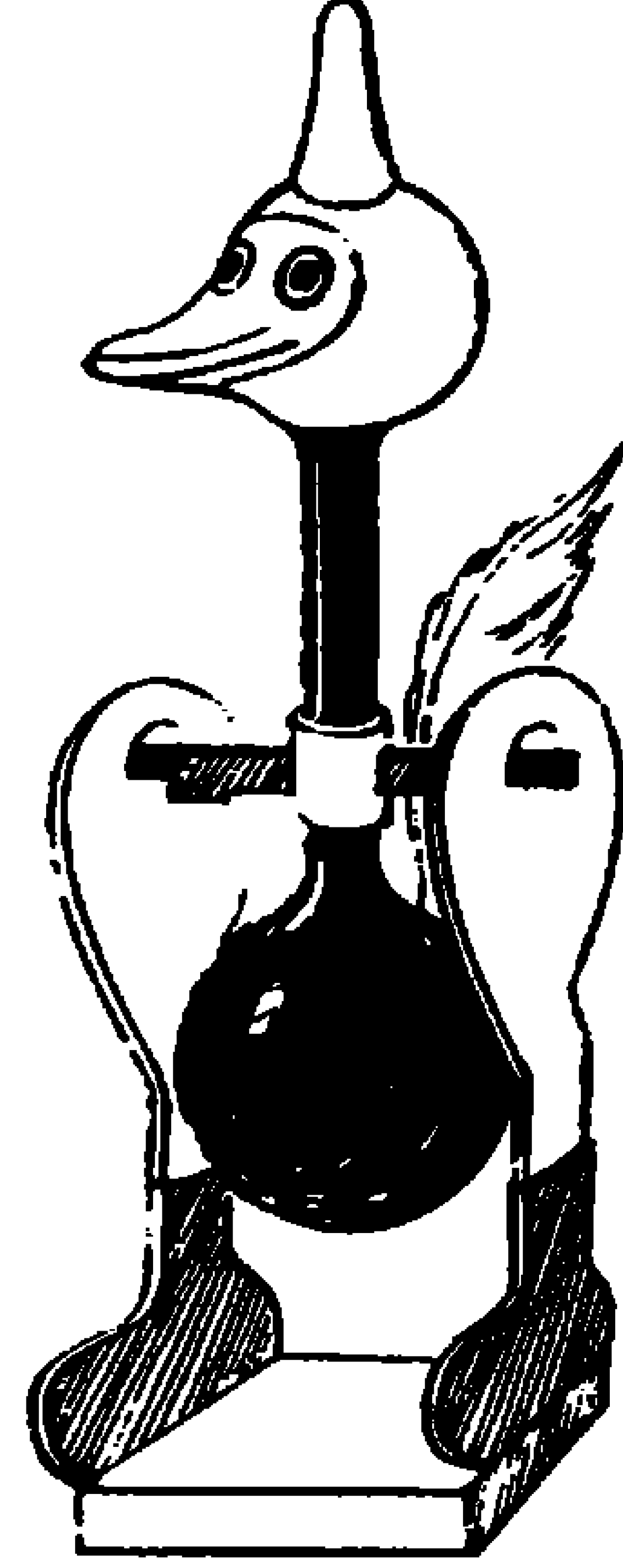
الى متى يستمر انبعاث الاشعة من الراديوم ؟

لقد ثبت بان قابلية الراديوم لبعث الاشعة ، تقل الى النصف خلال ١٦٠٠ سنة . ولذا ، فان الساعة الراديومية ستستمر فى عملها لمدة لا تقل عن ألف سنة ، مع تضاؤل تردد الحركة الاهتزازية بالتدريج ، نتيجة لضعف الشحنة الكهربائية . ولو كانت هذه الساعة الراديومية قد صنعت فى بداية قيام أول دولة روسية ، لاستمرت فى عملها حتى يومنا هذا !

والآن ، هل يمكن استخدام محرك الطاقة الممنوحة هذا ، لبعض الاغراض العملية ؟ ان ذلك غير ممكن مع الاسف . ان قدرة هذا المحرك (اى مقدار العمل الذى ينجزه فى الثانية) ضئيلة الى درجة لا تسمح له بتشغيل اية آلية ، مهما كانت صغيرة . ولاجل الحصول على بعض النتائج الملموسة ، يجب استخدام احتياطى كبير من الراديوم ، يزيد عما سبق بكثير . واذا علمنا بان الراديوم هو عنصر نادر الوجود وباهظ الثمن ، لوافقنا على ان مثل هذا المحرك الذى يعمل بالطاقة الممنوحة ، لا يجلب لصاحبه الا الافلاس والخراب .

ان فى داخل الذرة ، احتياطات هائلة من الطاقة ، تكمن فى نواتها . ونستطيع باستخدام الطاقة الذرية ، الحصول على احتياطات لا تنضب من الطاقة ، وهذا يحدث امام أعيننا فى هذه الايام ، حيث تم انشاء العديد من المحطات الكهرذرية ، وكانت المحطة الاولى من هذا النوع قد انشئت فى الاتحاد السوفييتى عام ١٩٥٦ .

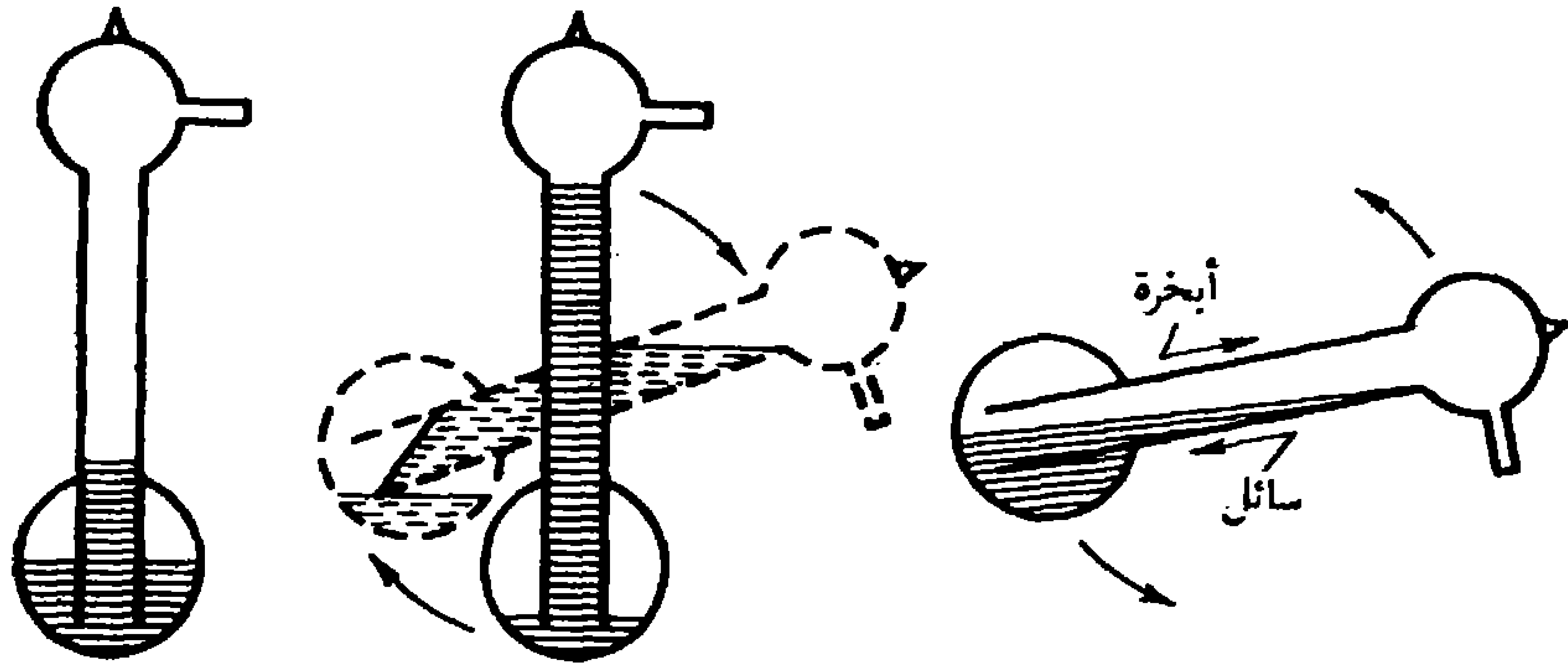
الطير الشريب


شكل ٩٩: الطير الشريب.

توجد بين ألعاب الاطفال ، لعبة صغيرة مصدرها الصين ، تدهش كل من يراها اثناء عملها . وهذه اللعبة تسمى « الطير الشريب » . وعندما نضع امام هذا الطير كأسا من الماء ، فانه ينحني ويغمر منقاره في الماء ، ثم يشرب ويرفع رأسه ليعود الى وضعه السابق . وبعد ان يقف قليلا يبدأ بالانحناء ببطء حتى يغمر منقاره في الماء فيشرب ثم يعود الى وضعه السابق من جديد .. وهكذا .

ان هذه اللعبة هي عبارة عن نموذج للمحركات ، التي تعمل بالطاقة الممنوحة . ان آلية الحركة في هذه اللعبة ، ظريفة جدا . اذ يتكون جسم الطير (شكل ٩٩) ، من انبوبة زجاجية ، تنتهي من الاعلى بكرة صغيرة ، صنعت على شكل رأس يحتوي على منقار . وتنتهي الانبوبة من الاسفل ، بنهاية مفتوحة ، داخلة في وعاء كروي ، أوسع من الكرة الاولى ، وهو مغلق باحكام ايضا . وهذا الوعاء مملوء بالاثير ، بحيث يكون مستوى الاثير أعلى من النهاية المفتوحة للانبوبة بقليل .

والآن ، لكي نجعل الطير يبدأ بالشرب ، يجب ان نبلل رأسه بالماء . وسيبقى الطير بعد ذلك ، محافظا على وضعه العمودي لفترة قليلة ، ذلك لان الوعاء السفلي ، الذي يحتوي على الاثير ، أثقل من الرأس . ولنرى الان ما الذي سيحدث بعد ذلك . نلاحظ قبل كل شيء ، بان الاثير بدأ يرتفع الى اعلى الانبوبة (شكل ١٠٠) . وعندما يصل الى الحافة العليا للانبوبة ، يصبح الجزء العلوي اثقل من الجزء السفلي ، وبذلك ينحني الطير ليغمر منقاره في كأس الماء. وبعد ان يصبح الطير في وضع أفقي، تصبح النهاية المفتوحة للانبوبة ، أعلى من مستوى الاثير الموجود في الوعاء السفلي ،



شكل ١٠٠ : سر تركيب الطير الشريب .

وبذلك يجرى الاثير من الانبوبة ، ليعود الى الوعاء من جديد . ويصبح « الذيل » اثقل من الرأس مرة اخرى ، ويعود الطير الى الوضع العمودى .

ان الناحية الميكانيكية لهذه المسألة، قد اصبحت الان مفهومة لدى القارئ، وتتلخص فى ان حركة الاثير تغير توزيع الاثقال حول المحور ، اى تزيح مركز الثقل. ولكن ما الذى يجعل الاثير يرتفع الى الاعلى ؟

ان الاثير الموجود فى داخل الطير ، يتبخر بسهولة عند درجة حرارة الغرفة . اما ضغط الابخرة المشبعة ، فيتغير بحدة مع تغير درجة الحرارة .

وعندما يصبح الطير فى وضع عمودى ، يمكن ملاحظة منطقتين منفصلتين من أبخرة الاثير : الانبوبة مع الرأس ، والوعاء الذيلى .

ان لرأس الطير خاصية رائعة ، وهى انه عند تبلله بالماء ، تصبح درجة حرارته ، أقل من درجة حرارة الوسط المحيط بقليل . ومن السهل التوصل الى ذلك ، اذا صنعت قمة رأس الطير من مادة مسامية ، تمتص الرطوبة جيدا ، وتبخرها بسرعة .

وليتذكر القارئ ما قلناه عن التبخر فى الفصل السابع . ان التبخر السريع يكون مصحوبا بانخفاض فى درجة حرارة رأس الطير ، بالنسبة لدرجة حرارة الانبوبة ووعاء الاثير السفلى . وهذا بدوره يؤدى الى انخفاض ضغط البخار المشبع ، الموجود فى

رأس الطير ، ويندفع الاثير الى أعلى الانبوبة ، بتأثير الضغط المرتفع للابخرة الموجودة في وعاء الاثير السفلى . وبذلك يتزاح مركز الثقل ، وبالتالى . يأخذ الطير الوضع الافقى . وفي هذا الوضع،تجرى عمليتان منفصلتان عن بعضهما تماما.اولا — يغمر الطير منقاره في كأس الماء ، وبذلك يبلل الغطاء القطنى ، الموضوع على رأسه . وثانيا — يختلط البخار المشبع الموجود فى رأس الطير ، مع البخار المشبع الموجود فى الوعاء السفلى ، ويصبح الضغط متعادلا (ترتفع درجة حرارة الابخرة قليلا ، على حساب حرارة الهواء المحيط) ، ويسيل الاثير من الانبوبة الى الوعاء السفلى ، وذلك بتأثير وزنه الذاتى . وهنا يأخذ الطير الوضع العمودى من جديد .

وهكذا ستتحرك اللعبة باستمرار ، ما زال الغطاء القطنى الموضوع على الرأس يتبلل على الدوام ، وعلى شرط ان لا تكون رطوبة الهواء المحيط عالية جدا . وهذان العاملان ضروريان لاستمرار عملية التبخر بصورة طبيعية ، وبالتالى تأمين الانخفاض النسبى لدرجة حرارة الرأس . وبهذا الشكل ، فان حرارة الهواء المحيط المنتقلة الى اللعبة باستمرار ، تكون بمثابة مصدر لحركة الطير السحرى .

وهكذا نرى بان هذه اللعبة ، هى عبارة عن نموذج صادق للمحرك الذى يعمل بالطاقة الممنوحة ، وهى أبعد ما تكون عن المحرك « الدائم الحركة » .

كم يبلغ عمر الارض ؟

ان دراسة قوانين انحلال العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية ، زودت الباحثين بطريقة ناجحة لحساب عمر الارض .

ما هو الانحلال ذو الفاعلية الاشعاعية ؟ انه عبارة عن تحول الذرات ذاتيا — اى بدون تأثير خارجى — الى ذرات من نوع آخر . ومن الغريب ان نلاحظ ، بان هذا التحول لا يخضع لاية مؤثرات خارجية . ان انخفاض او ارتفاع درجة الحرارة او الضغط وغير ذلك ، لا يؤثر مطلقا على سرعة حدوث عملية التحول * . ان عناصر اليورانيوم

* للتأثير على عملية التحول ، نحتاج الى درجة حرارة تساوى عشرات المليارات من درجات الحرارة المئوية.

والثوريوم والاكتنيوم، الموجودة فى بعض المعادن ، تعتبر من ابرز الاعضاء الاوائل ، فى صفوف العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية . وكل صف من الصفوف ، يتكون نتيجة لتعاقب تحول العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية ، تحولا ذاتيا من عنصر لاخر . والنتيجة النهائية لهذه التحولات ، بالنسبة للعناصر الثلاثة المذكورة ، هى تكون الرصاص . وللرصاص الناتج عن تحول كل عنصر من العناصر الثلاثة المذكورة ، وزن ذرى يختلف قليلا عن الوزن الذرى للرصاص العادى . ان ذرة الرصاص العادى ، اثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٧ مرات ، وذرة الرصاص الناتج من اليورانيوم اثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٦ مرات ، وذرة الرصاص الناتج من الثوريوم اثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٨ مرات . اما ذرة الرصاص الناتج من الاكتنيوم ، فهى أثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٧ مرات . ولذا ، يمكن بسهولة التمييز بين هذه الانواع الثلاثة من الرصاص .

ويكون التحول المذكور مصحوبا بابتعاث ما يسمى بأشعة « ألفا » ، من الذرات المنحلة . وهذه الاشعة — تيار الدقائق المادية المشحونة — هى عبارة عن ذرات غاز الهليوم الخفيف الخامل . وبما ان سرعة هذه الدقائق المشحونة فى لحظة تحررها ، كبيرة جدا ، فانها تفقد شحنتها الكهربائية الموجبة ، وتبقى فى داخل المعدن على هيئة غاز الهليوم العادى . وهذا ما يفسر لنا سبب وجود غاز الهليوم ، فى جميع المعادن ذات الفاعلية الاشعاعية .

الا ان تقدير عمر المعادن ، بموجب ما تحتويه من غاز الهليوم ، يمكن ان يؤدى الى نتيجة غير مضبوطة الى حد بعيد . ذلك لان لغاز الهليوم قابلية للتصعيد (التطاير) كبقية الغازات الاخرى الخفيفة . ويظهر ان الحصول على أضبط نتيجة لتقرير عمر المعدن ، يتم بقياس كمية الرصاص المتراكم فى ذلك المعدن .

وفى بداية اربعينيات القرن العشرين ، قام العالم الجيولوجى الانكليزى هولمز ، بدراسة وتقدير كمية مختلف انواع الرصاص ، الموجودة فى مكامن المعادن المختلفة ، وخرج منها بنتيجة ، مفادها ان عمر الارض يبلغ ٣ مليارات ونصف مليار سنة .

وفى الواقع ، فان هولمز لم يحدد عمر الارض بالذات ، ولكنه حدد عمر قشرتها ، مستندا فى ذلك الى بعض النظريات القديمة ، حول تكون الارض من كتلة من الغازات الساخنة ، المنفصلة عن الشمس .

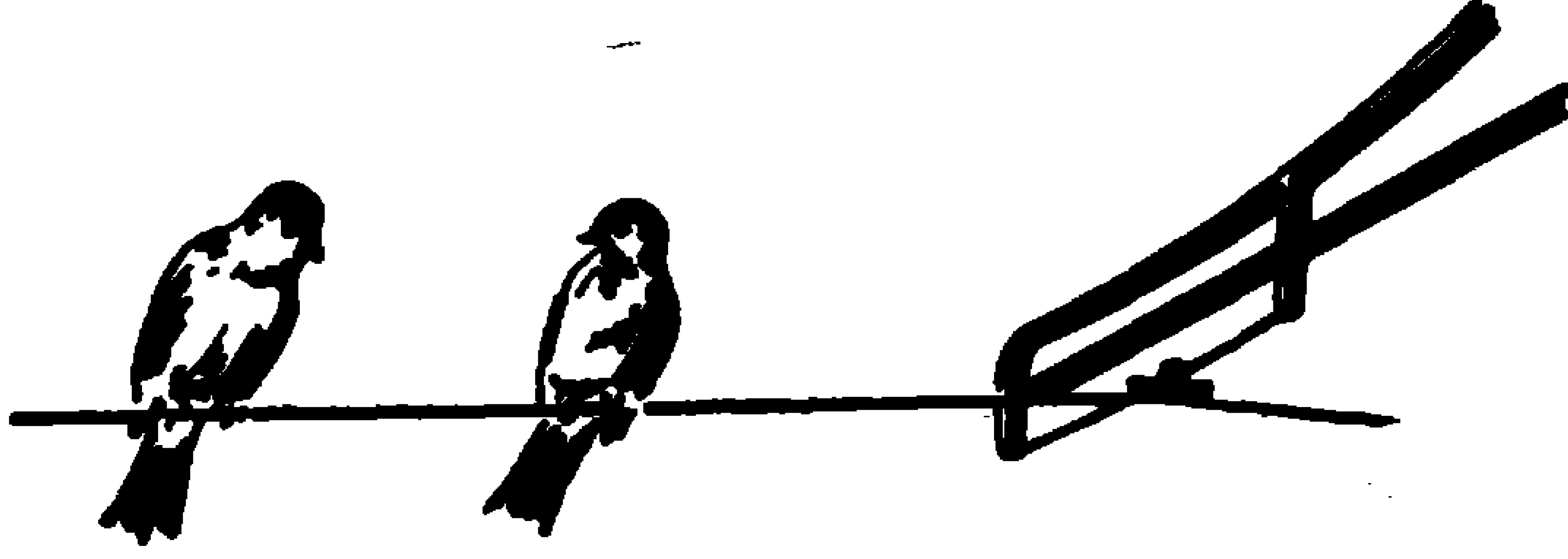
وقد قام الاكاديمى السوفييتى فينوجرادوف ، فى الفترة الواقعة بين عامى ١٩٥١ و ١٩٥٢ ، بدراسة وتحليل كافة المعطيات بصورة دقيقة ، وتوصل الى نتيجة مفادها انه لا يمكن تقدير عمر القشرة الارضية ، استنادا الى المعطيات الخاصة بالرصاص فقط . ويمكن التأكيد فى هذه الحالة ، على ان عمر الارض لا يزيد على ٥ مليارات سنة . وقد امكن فى نفس الوقت ، العثور على بعض المعادن ، التى يقدر عمرها بثلاثة مليارات سنة . وبالاستناد الى المعطيات الخاصة بسرعة انحلال نظيرين من نظائر اليورانيوم وكميتهما (وزنهما الذرى يساوى ٢٣٥ و ٢٣٨ على التوالى) ، يقدر عمر الارض بما يتراوح بين ٥ و ٧ مليارات سنة .

وبناء على هذه المعطيات وغيرها ، يمكن تقدير عمر الارض بستة مليارات سنة . ومما يثبت صحة هذا التقدير ، امكانية الحصول على نفس النتيجة ، باتباع طرق مختلفة تماما .

ان العمر الذى يقدر بستة مليارات سنة ، هو عمر مهول ، ليس عند مقارنته بعمر انسان واحد فحسب ، بل وعند مقارنته بتاريخ الانسانية جمعاء .

الطيور الجالسة على الاسلاك الكهربائية

ان الجميع يدركون مدى الخطر الذى يتعرض له الانسان عندما يلمس الاسلاك الكهربائية للترام ، او شبكة الاسلاك الكهربائية ذات الفلطية العالية اثناء مرور التيار الكهربائى خلالها . ان هذا العمل مميت ، ليس بالنسبة للانسان فحسب ، بل وبالنسبة لاضخم الحيوانات ايضا . وهناك كثير من حوادث الموت ، الناجمة عن لمس الاسلاك الكهربائية المقطوعة .



شكل ١٠١ : بماذا يفسر جلوس الطيور على الاسلاك الكهربائية دون ان تصاب باذى ؟

ولكن ، بماذا تفسر ظاهرة جلوس الطيور على الاسلاك الكهربائية ، بكل هدوء وبدون ان تصاب باى اذى ؟ يمكن ملاحظة هذه الظاهرة بكثرة ، وخاصة فى المدن (شكل ١٠١) .

ولكى نفهم سبب مثل هذه التناقضات ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ما يلى : ان جسم الطير الجالس على السلك الكهربائى ، يكون بمثابة خط فرعى للدائرة الكهربائية ، وله مقاومة كبيرة جدا ، بالنسبة لمقاومة الخط الفرعى الاخر (المسافة القصيرة الموجودة بين رجلى الطير) . ولهذا السبب تكون قوة التيار الكهربائى فى هذا الخط الفرعى (فى جسم الطير) ، ضئيلة ولا تسبب اى اذى . ولكن اذا قام الطير الجالس على السلك الكهربائى ، بلمس عمود الكهرباء بجناحه او بذيله او بمنقاره — وبصورة عامة اذا اتصل بالارض باية وسيلة كانت — فان التيار الكهربائى سيصعقه فى الحال ، وذلك بانتقاله الى الارض خلال جسم الطير . وهذه الظاهرة كثيرة الحدوث * .

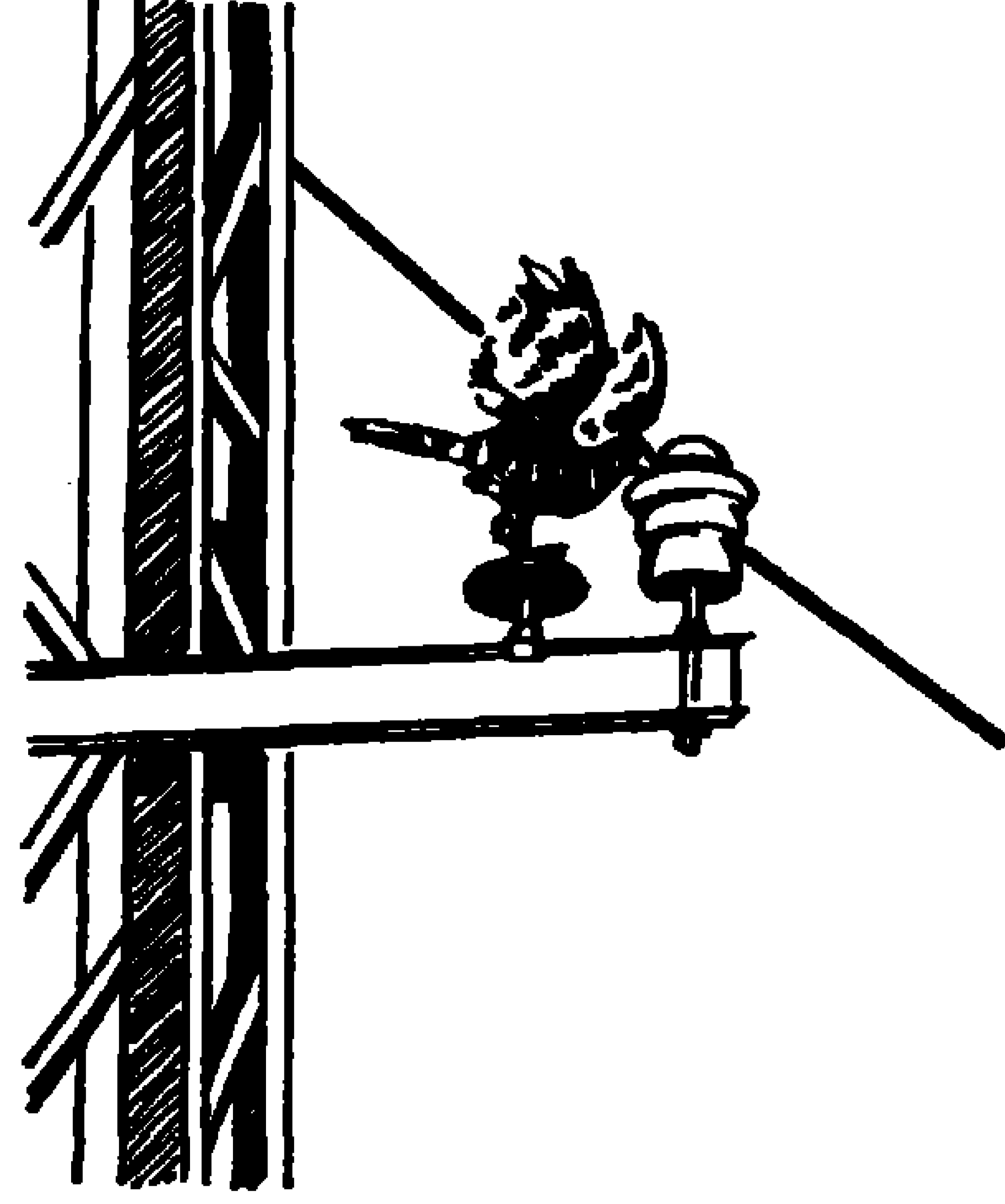
وقد تعودت الطيور على حك مناقيرها باسلاك الكهرباء ، اثناء جلوسها على محامل خطوط النقل العالية الفلطية .

ولما كانت المحامل المذكورة ، غير معزولة عن الارض ، فان الطير يتعرض للموت ، حالما يمس الاسلاك المكهربة . وهذه الظاهرة كثيرة الحدوث ، بحيث

---

* ان التيار المار خلال الجسم ، هو المسئول كليا عن موت الخلايا الحية لذلك الجسم . وبما ان الجسم الحى ، مقاومة كهربائية محدودة ، اذن يحدد التيار المار خلاله ، بنسبة الجهد الارضى .

جعلت الالمان فى وقت من الاوقات ، يحتاطون لهذا الامر باجراءات خاصة ، تحول دون هلاك الطيور فى هذه الحالة . ولاجل ذلك ، اقاموا على محامل خطوط النقل العالية الفلطية ، مجاثم معزولة ، لكى تجلس عليها الطيور وتحك مناقيرها باسلاك الكهرباء، دون ان تصاب بأذى (شكل ١٠٢) . وفى حالات أخرى ، تغلف الاسلاك الكهربائية ، فى الاماكن الخطرة ، بأغلفة عازلة ، بحيث يتعذر على الطيور ان تلامس الاسلاك المذكورة .



شكل ١٠٢ : جلوس الطيور على محامل خطوط النقل الكهربائى ذات الفلطية العالية .

تحت ضوء البرق

هل حدث ان شاهد القارئ منظر الشوارع الزاخرة بالحركة ، كما تبدو تحت ضوء البرق المتقطع ، اثناء حدوث العواصف الرعدية ؟ ليتصور القارئ بان عاصفة رعدية باغتته اثناء سيره فى شارع مدينة قديمة . سيلاحظ القارئ بالطبع ، ظاهرة غريبة عند وميض البرق ، وهى ان الشارع الذى كان قبل برهة يزخر بالحركة ، اصبح فى لحظات الوميض ، خاليا من الحركة تماما . وتبدو الخيول واقفة فى وضع متوتر وقد ارتفت قوائمها فى الهواء ، وتتوقف العربات عن الحركة ، بحيث يمكن بوضوح تمييز كل برمق من برامق عجلاتها .

ان سبب توقف الحركة الظاهر ، يتلخص فى ضآلة الوقت الذى يستغرقه حدوث البرق . ان الوقت الذى يستغرقه حدوث البرق ، كأية شرارة كهربائية اخرى ، ضئيل للغاية ، بحيث لا يمكن قياسه بالاجهزة العادية . غير ان العلماء تمكنوا بطرق غير

مباشرة، من تحديد الوقت الذى يستغرقه حدوث البرق ، ويتراوح بين ٠,٠٠١ — ٠,٠٢ ثانية (ان حدوث البرق بين الغيوم ، يستغرق وقتا يصل الى ١,٥ ثانية) . والاشياء التى يمكنها التحرك بصورة ملحوظة ، خلال تلك الفترات الزمنية القصيرة للغاية ، نادرة الوجود فى الطبيعة . ولذلك يجب الا نستغرب عندما نرى بان الشارع الزاخر بالحركة ، قد استحال عند وميض البرق ، الى شارع خال من الحركة تماما ، لاننا لا نحس فى هذه الحالة ، الا بالحركات التى تستغرق من الوقت ما يقل عن جزء من الف من الثانية !

ان كل برمق من برامق العجلات السريعة الحركة ، لا يمكن ان يتحرك خلال الفترة الزمنية المذكورة ، الا لمسافة جزء ضئيل من الملمتر ، يمكن اعتباره بمثابة الصفر بالنسبة للعين ، اى سكون مطلق . ومما يؤدى الى زيادة عمق هذا الانطباع ، ان تأثير هذه الصورة على شبكية العين ، يدوم لفترة تزيد بكثير عن الفترة التى يستغرقها وميض البرق .

كم يبلغ ثمن البرق ؟

كان البرق فى الازمان الغابرة ، يعتبر شيئا الهيا مقدسا ، ولهذا فإن سؤالنا كان سيعتبر نوعا من الكفر فى ذلك الوقت . اما فى عصرنا هذا ، فقد تحولت الطاقة الكهربائية الى بضاعة تقاس وتقيم كأية بضاعة اخرى . ولهذا ، فان السؤال عن ثمن البرق ليس بعديم المعنى ابدا . وتتلخص المسألة فى حساب الطاقة الكهربائية المستهلكة عند تفريغ شحنة الصاعقة ، وتقدير ثمنها ولو بموجب تسعيرة الاضاءة الكهربائية .

ويقدر جهد تفريغ شحنة الصاعقة ، حسبما تشير اليه احدث المعطيات بخمسين مليون فلط . كما تقدر شدة التيار القصوى فى هذه الحالة بـ ٢٠٠ الف امبير (تحدد شدة التيار بدرجة تمغنط قضيب من الفولاذ ، عندما يمر فى ملف القضيب ، ذلك التيار الكهربائى الناتج من اصطدام الصاعقة بموصل الصواعق) . ونحصل على القدرة مقاسة بالواطات ، بضرب عدد الفلطات فى عدد الامبيرات ؛ ولكن عند القيام بذلك ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، هبوط الجهد الى الصفر ، اثناء عملية تفريغ الشحنة .

ولذلك يجب عند القيام بحساب القدرة الكهربائية للتفريغ ، أخذ متوسط الجهد ، او بعبارة اخرى أخذ نصف الجهد الابتدائي . وهكذا ، نحصل على قدرة تفريغ تساوى ما يلى :

$$\frac{٢٠٠٠٠٠ \times ٥٠٠٠٠٠٠٠}{٢} = ٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ \text{ واط،}$$

او ٥ مليارات كيلوواط .

وبالحصول على هذا العدد الكبير من الاصفار ، يتوقع القارئ ان يكون ثمن البرق ــ طبقا لذلك ــ باهظا جدا . ولكن للحصول على الطاقة مقاسة بالكيلوواط ــ ساعة (وهى وحدة قياس الاضاءة الكهربائية) ، لا بد من أخذ الفترة الزمنية فى الاعتبار . ان تفريغ شحنة الصاعقة ، يستغرق حوالى جزء من الف من الثانية (٠,٠٠١ ثانية) . وخلال هذه الفترة الزمنية القصيرة ، يصل مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة الى $\frac{٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠}{٣٦٠٠٠٠٠}$ كيلوواط ــ ساعة ، اى حوالى ١٤٠٠ كيلوواط ــ ساعة .

ان سعر الكيلوواط ــ ساعة ، يساوى ٤ كوبيكات حسب تسعيرة الاضاءة الكهربائية في الاتحاد السوفييتي . ومن هنا نستطيع بسهولة حساب ثمن البرق ، كما يلى :

$$١٤٠٠ \times ٤ = ٥٦٠٠ \text{ كوبيك} = ٥٦ \text{ روبلا}^{*}$$

وهذه النتيجة مدهشة بلا شك . ان البرق الذى تزيد طاقته بمئة مرة ، على رمية المدفع الثقيل ، لا يساوى ــ حسب تسعيرة الاضاءة الكهربائية ــ سوى ٥٦ روبلا !

ومن الجدير بالذكر ، ان علم الهندسة الكهربائية الحديث ، قد مكن الانسان من الاقتراب من استحداث البرق صناعيا . فقد تمكن العلماء فى مختبراتهم ، من التوصل الى جهد كهربائي قدره ١٠ ملايين فلط ، ونتجت عن ذلك شرارة كهربائية طولها ١٥ م ، وكلا الامرين لا يقلان عما هو عليه فى البرق الطبيعى ، الا بعدة عشرات من المرات .

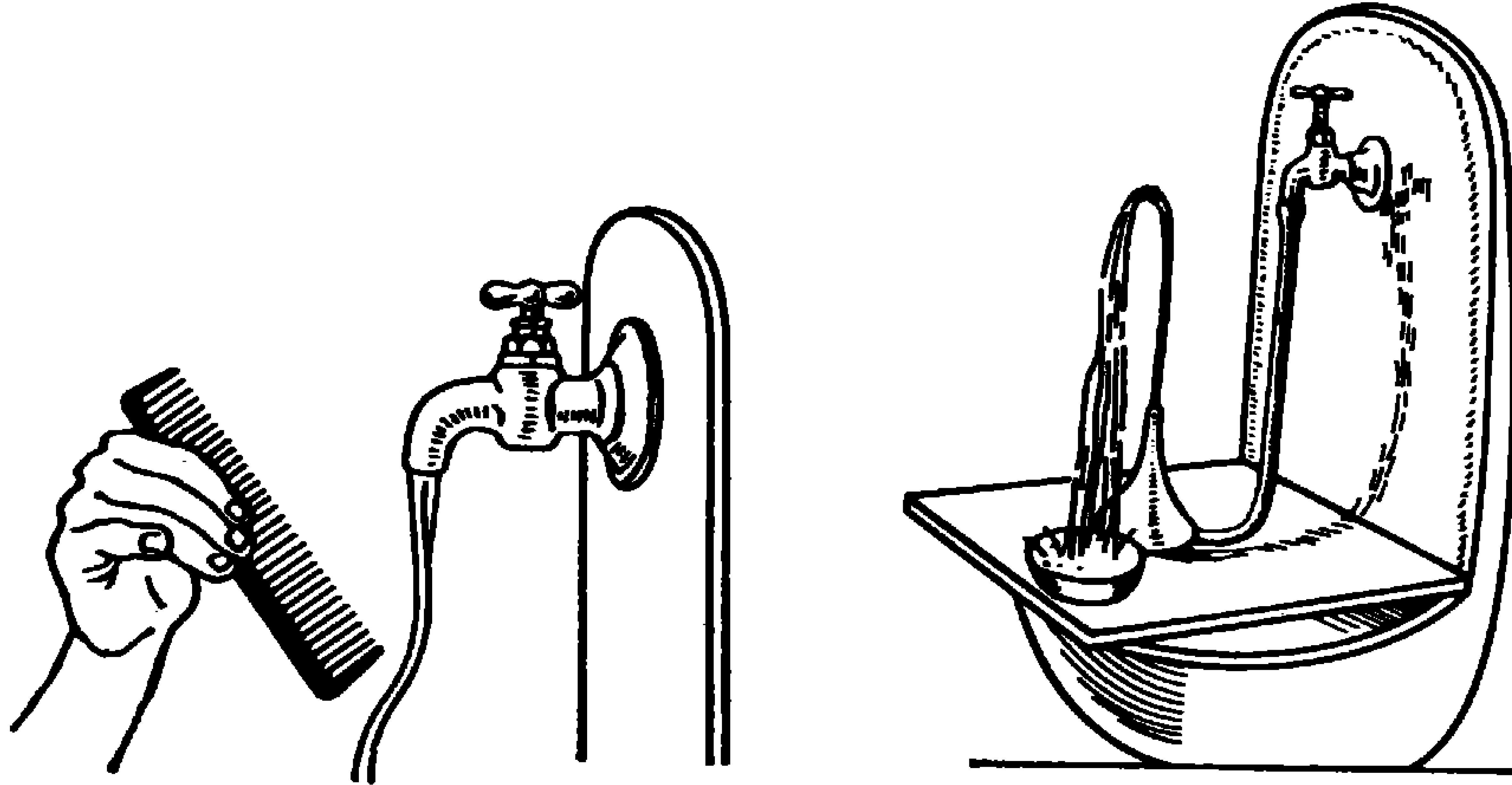
---

* اى حوالى ٦٠ دولارا ــ المترجم

عاصفة رعدية في الغرفة

يمكن بسهولة ، صنع نافورة فى البيت ، وذلك باستخدام أنبوبة مطاطية ، وغمر احد طرفيها فى سطل ماء موضوع فى مكان مرتفع ، او ادخال ذلك الطرف فى صنبور الماء . ويجب ان تكون فتحة خروج الماء من الطرف الثانى للانبوبة ، صغيرة جدا ، بحيث يتدفق الماء من النافورة على هيئة رشاش . واسهل طريقة للقيام بذلك ، هى ان ندخل فى طرف الانبوبة الثانى ، قلما من اقلام الرصاص ، بعد اخراج لبابه الغرافيتى . ولسهولة استخدام النافورة ، يثبت الطرف الحر للانبوبة ، فى داخل قمع مقلوب ، كما هو مبين فى الشكل ١٠٣ .

والآن لنجعل الماء يتدفق من النافورة بصورة عمودية ، الى ارتفاع نصف متر ، ونقرب منه قضيبا من شمع الختم ، او مشطا من الابونيت ، بعد فركهما مسبقا بقطعة من الجوخ . سوف نرى فى الحال شيئا غير متوقع ، حيث تلتحم تيارات الماء المتفرقة ، فى تيار واحد متماسك ، يرتطم بقعر الصحن الموضوع تحته ، ويحدث صوتا قويا ، أشبه ما يكون بصوت العاصفة الرعدية . ويقول العالم الفيزيائى بويس بهذه المناسبة :



شكل ١٠٣ : عاصفة رعدية فى الغرفة .

شكل ١٠٤ : عند تقريب مشط مكهرب من تيار مائى نجد بان ذلك التيار ينحنى مبتعداً عن المشط .

« ليس هناك شك فى ان هذا السبب بالذات ، هو الذى يجعل حجم قطرات المطر يزداد كثيرا اثناء العواصف الرعدية » . وعندما نبعد شمع الختم عن النافورة ، نرى ان تدفق الماء يعود حالا الى وضعه السابق ، ويختفى الصوت الرعدى ليحل محله صوت تدفق الماء بنعومة .

ويستطيع القارئ ان يجعل من قضيب شمع الختم ، عصا سحرية بالنسبة لغير المطلعين على حقيقة الامر ، كما فعل المشعوذ الفرنسى ، عندما استخدم الصندوق الحديدى ليثبت للجماهير قدرته السحرية العظيمة .

وسبب حدوث هذه الظاهرة غير المتوقعة ، يعود الى كهربة القطرات بالحث . ان القطرات القريبة من شمع الختم ، تشحن بشحنة موجبة ، اما القطرات البعيدة عنه ، فتشحن بشحنة سالبة . وهذا هو الامر الذى يجعل القطرات تندفع مع بعضها ، نتيجة للتجاذب المتبادل بين القطرات المختلفة الشحنة .

وهناك طريقة ابسط من ذلك ، نستطيع بواسطتها اكتشاف تأثير الكهرباء على تيار الماء المنهمر . نمشط شعرنا بمشط من الابونيت ، ثم نقربه من تيار الماء الجارى من الحنفية . وسنرى فى هذه الحالة ، كيف يصبح تيار الماء متماسكا ، ويتقعر نحو المشط ، مبتعدا عنه (شكل ١٠٤) .

ان تفسير هذه الظاهرة ، اصعب من تفسير الظاهرة السابقة ، لانها مرتبطة بتغير الشد السطحى ، تحت تأثير الشحنة الكهربائية .

ونشير بهذه المناسبة ، الى ان سهولة تراكم الشحنة الكهربائية عند الاحتكاك ، تفسر لنا سبب تكهرب السيور عندما تحتك بالبكرات . وفى الشرارات الكهربائية الناتجة عن ذلك ، يكمن خطر حقيقى يتعلق بنشوب الحرائق فى بعض المصانع . ولتلافى هذا الخطر ، تطلى السيور بطبقة رقيقة من الفضة ، تجعلها موصلة للكهرباء ، وبذلك تحول دون تراكم الشحنة الكهربائية فيها .

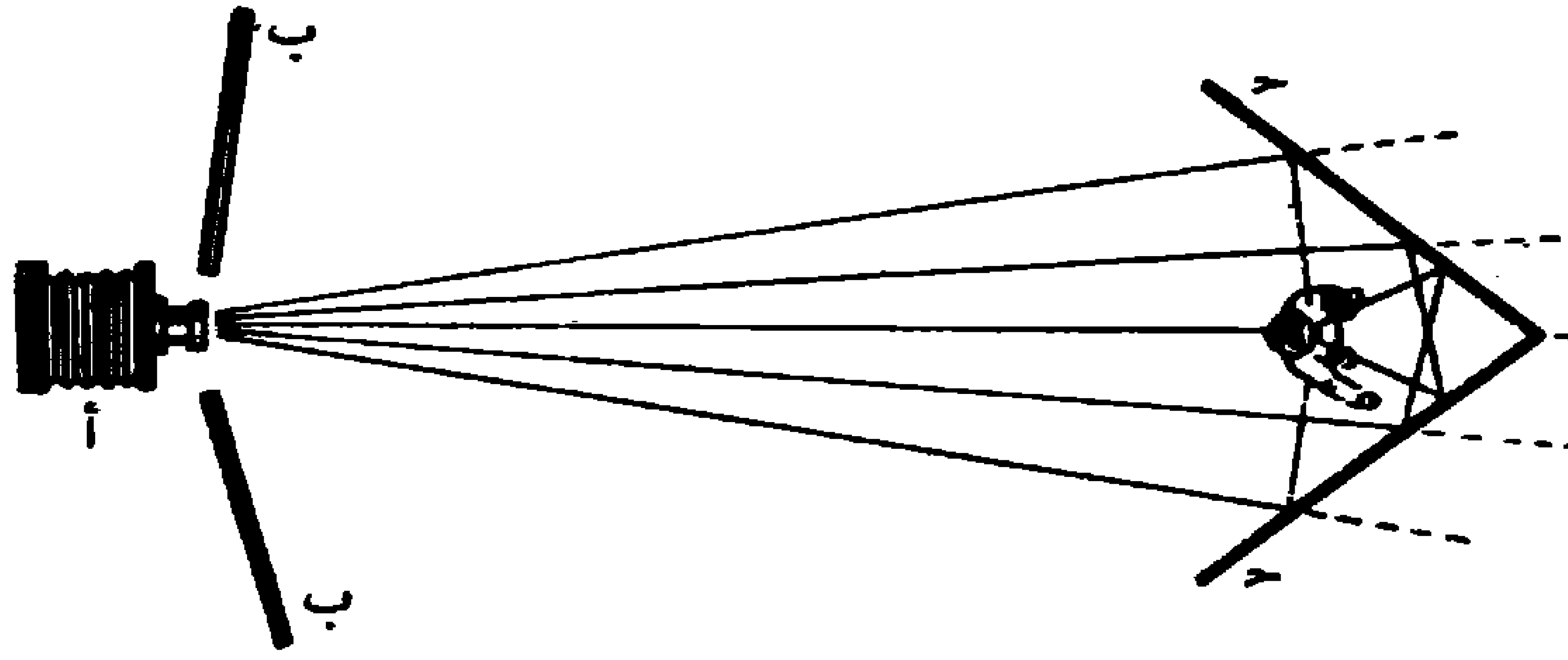
الفصل التاسع | انعكاس وانكسار الضوء . الابصار

الصورة المضاعفة خمس مرات

ان احدى عجائب فن التصوير الفوتوغرافى ، تتمثل فى الصورة التى يظهر فيها الشخص الواحد ، فى خمسة اوضاع مختلفة (شكل ١٠٥) . ومثل هذه الصور ، تكون بلا شك افضل من الصور العادية ، لانها تعطى انطباعا اعمق ، عن ملامح الشخص الاصلى . ويعرف الجميع مدى الجهد الذى يبذله المصورون الفوتوغرافيون للحصول على افضل وضع للوجه المراد تصويره ؛ اما فى هذه الحالة ، فنحصل فى الحال على



شكل ١٠٥ : صورة مضاعفة خمس مرات .



شكل ١٠٦ : طريقة الحصول على صور مضاعفة خمس مرات . يجلس الشخص المراد تصويره بين المرآتين حـحـ .

خمسة اوضاع مختلفة لذلك الوجه ، يمكن ان نختار من بينها افضل وضع ، يعبر عن ملامح الوجه بدقة .

كيف نحصل على هذه الصور ؟ طبعا باستخدام المرايا (شكل ١٠٦) . يجلس الشخص المراد تصويره ، بحيث يدير ظهره الى عدسة التصوير أ ، بينما يكون وجهه امام مرآتين مستويتين عموديتين على الارض ، تشكلان مع بعضهما زاوية تقدر بخمس الزاوية ٣٦٠° ، اى ٧٢° . ان مثل هاتين المرآتين ، تعطيان اربعة انعكاسات ، باتجاهات مختلفة بالنسبة لعدسة التصوير . وتلتقط هذه العدسة صور الانعكاسات الاربعة بالاضافة الى صورة الشخص بالذات . اما المرآتان (وهما بدون اطار) فلا تظهران فى الصورة ، بطبيعة الحال . وللحيلولة دون انعكاس صورة آلة التصوير الفوتوغرافية فى المرآتين المذكورتين ، تخفى الالة وراء ستارين ب ب ، فيهما فتحة صغيرة تبرز منها العدسة .

ان عدد الانعكاسات (الصور فى المرآة) يعتمد على الزاوية الموجودة بين المرآتين ، فكلما قلت هذه الزاوية ، كلما زاد عدد الانعكاسات الناتجة .

وعندما تبلغ الزاوية $\frac{٣٦٠°}{٤}$ = ٩٠° ، نحصل على اربعة انعكاسات ، وعندما تبلغ $\frac{٣٦٠°}{٦}$ = ٦٠° ، نحصل على ستة انعكاسات . اما عندما تبلغ $\frac{٣٦٠°}{٨}$ = ٤٥° ، فنحصل

على ثمانية انعكاسات ، وهلم جرا . ولكن اذا كان عدد الانعكاسات كبيرا ، تكون الصور باهتة . ولهذا يكتفى المصورون عادة ، بالصور المضاعفة خمس مرات .

المحركات والمسخنات التى تعمل بالطاقة الشمسية

ان فكرة استخدام الطاقة المخزونة فى اشعة الشمس ، لتسخين غلاية المحرك ، هى فكرة مغرية جدا . لنجرى الحساب البسيط التالى : ان الطاقة التى تمنحها الشمس فى الدقيقة الواحدة لكل سنتمتر مربع من السطح الخارجى لجو الارض ، عند سقوطها عليه بصورة عمودية ، محسوبة بدقة من قبل العلماء . ويظهر ان كمية هذه الطاقة ثابتة على الدوام . ولهذا السبب ، اطلق عليها العلماء اسم « الثابت الشمسى » ، وقيمته (مع التقريب) تساوى سعرين لكل سنتمتر مربع واحد ، فى الدقيقة الواحدة . وهذه الكمية الحرارية التى تنبعث من الشمس بصورة منتظمة ، لا تصل الى سطح الارض كاملة ، لان الجو يمتص حوالى نصف سعر منها . ولكن ، يمكن اعتبار ان كل سنتمتر مربع من سطح الارض ، الذى تسقط عليه أشعة الشمس بصورة عمودية ، يحصل على كمية من الحرارة تساوى ١,٤ سعر فى الدقيقة الواحدة . واذا قيست بمقياس اكبر ، نجد ان كل متر مربع من السطح المذكور ، يحصل على ١٤٠٠٠ سعر صغير ، او ١٤ سعرا كبيرا فى الدقيقة الواحدة ، وعلى حوالى $\frac{١}{٤}$ سعر كبير فى الثانية الواحدة . وبما ان كل سعر حرارى كبير يتحول كليا الى شغل ميكانيكى قدره ٤٢٧ كجم م ، فان أشعة الشمس الساقطة عموديا على رقعة من الارض تبلغ مساحتها ١ م^{٢} ، يمكن ان تعطى طاقة تزيد على ١٠٠ كجم م فى الثانية الواحدة ، وبعبارة اخرى ، تزيد تلك الطاقة على ١,٣٣ قدرة حصانية .

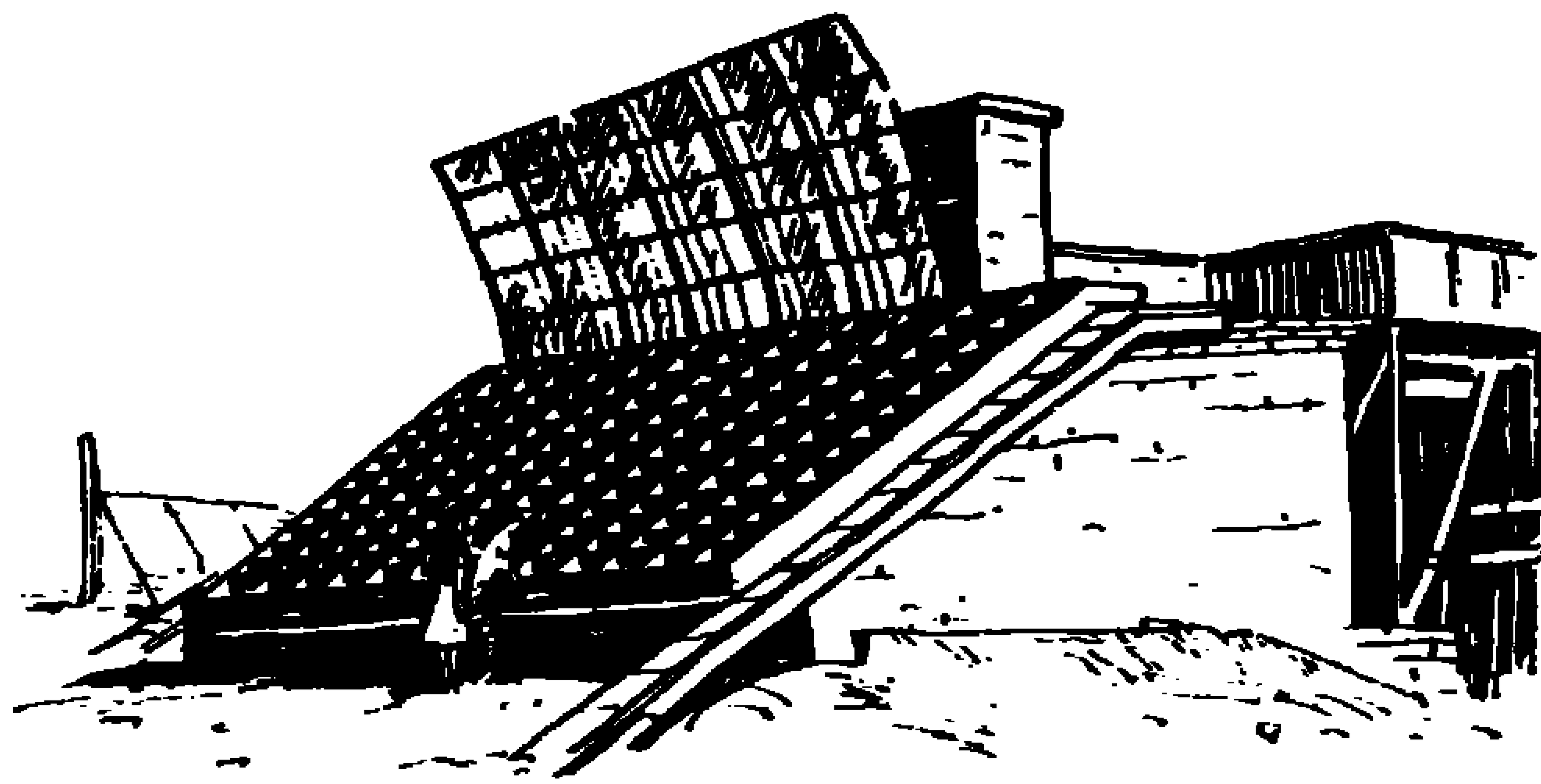
وهذا هو مقدار الشغل الذى يمكن ان تنجزه طاقة اشعة الشمس ، فى افضل الظروف الملائمة ــ عند سقوط الاشعة بصورة عمودية ، وتحولها كليا الى شغل ميكانيكى . ولكن ، لحد الآن ، لا تزال محاولات استخدام اشعة الشمس لتشغيل المحركات

بصورة مباشرة ، بعيدة عن الظروف المثالية السابقة الذكر ، حيث لم تزد كفاية المحركات المصممة على هذا الاساس ، على ٥ ــ ٦ ٪ .

وقد كان احسن المحركات المصممة المذكورة، من حيث الكفاية، هو المحرك الذى يعمل بالطاقة الشمسية ، الذى اخترعه البروفيسور جارلز أبوت ، حيث بلغت كفايته ١٥ ٪ .

ومن الاسهل استخدام طاقة اشعة الشمس للتسخين ، لا للحصول على شغل ميكانيكى . وتجد هذه المسألة اهتماما كبيرا لدى العلماء السوفييت ، حيث يوجد فى مدينة سمرقند معهد خاص لدراسة الطاقة الشمسية ، يقوم فيه العلماء بابحاث واسعة فى هذا المجال . وقد اخترعت واستخدمت عدة أجهزة تعمل بالطاقة الشمسية ، ومن ضمنها مسخنات الماء . ان معدل كفاية مسخنات الماء ، مرتفع نوعا ما ، حيث يبلغ ٤٧ ٪ . اما الكفاية القصوى فتصل الى ٦١ ٪ .

وقد اختبر العلماء فى جمهورية تركمانيا السوفييتية ، ثلاجة تعمل بالطاقة الشمسية ، حيث وصلت درجة حرارة بطاريات التبريد فى مرافق الثلاجة الى ما يتراوح بين ٢ و٣ تحت الصفر ، فى الوقت الذى كانت فيه درجة حرارة الجو ، قد بلغت ٤٢ مئوية فى الظل . وقد كانت هذه الثلاجة اول مثال لوحدة التبريد الصناعية ، التى تعمل بالطاقة الشمسية .



شكل ١٠٧ : مخزن للتبريد بالطاقة الشمسية فى جمهورية تركمانيا السوفييتية .

وقد اعطت تجارب صهر الكبريت بالطاقة الشمسية نتائج ممتازة (درجة حرارة الانصهار ١٢٠° مئوية) . وتجدر الاشارة هنا ، الى وحدات تقطير الماء ، التي تعمل بالطاقة الشمسية ، والتي تنتشر على سواحل بحر قزوين وبحر آرال في الاتحاد السوفييتي ، وكذلك الى المضخات التي تعمل بالطاقة الشمسية ، بدلا من المضخات البدائية في آسيا الوسطى ، والى مجففات الفواكه والاسماك ، والى المطابخ التي تحضر فيها كافة الاطعمة بواسطة « اشعة الشمس » . . وهلم جرا . ان كل ذلك يدخل في عداد الطرق المتنوعة لاستخدام أشعة الشمس التي تلتقط بالوسائل الفنية . وسوف تلعب هذه الاشعة دورا هاما في الاقتصاد الوطني .

وفي السنوات الاخيرة ، تمكن العلماء من اختراع « بطاريات شمسية » تتكون من الواح شبه موصلة ، تعمل على تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية . وتستخدم البطاريات الشمسية على نطاق واسع ، في الاجهزة والسفن الفضائية . وقد جرت اولى المحاولات ، لاستخدام هذه البطاريات لتغذية أجهزة الراديو ، التي تلازم الانسان في سفره وتنقلاته .

طاقية الاخفاء

هناك اسطورة قديمة جدا ، تدور حول طاقية مدهشة ، تجعل كل من يعتمرها ، يختفي عن الانظار . وقد أحيا الشاعر الروسي العظيم بوشكين ، تلك الاسطورة القديمة ، في روايته الشعرية « روسلان ولودميلا » . ويروى لنا بوشكين كيف ارتدت لودميلا الجميلة ، طاقية الاخفاء وهي تقف امام المرآة ، فاصابتها دهشة بالغة عندما اختفت صورتها المنعكسة في المرآة . وعندما نزعت لودميلا الطاقية عن رأسها ، رأت صورتها الجميلة في المرآة ثانية . وفرحت لودميلا بهذه الطاقية لانها جعلتها في مأمن من الاعداء ، الذين وقعت في أسرهم .

وكانت قابلية الاختفاء ، هي طريق الخلاص الوحيد ، بالنسبة للودميلا الاسيرة . وقد استخدمت لودميلا الطاقية المذكورة ، واستعانت بها على الهرب بعيدا عن أعين

الرقباء . ولم يستطع هؤلاء الرقباء ان يشعروا بوجود لودميلا ، الا بالحركات التى كانت تأتى بها ، فى غدوها ورواحها .

وقد تحقق منذ زمن بعيد ، الكثير من أحلام البشرية القديمة ، وتمكن العلم من تحويل كثير من المعجزات الخيالية ، الى حقائق واقعية . ونستطيع فى هذا العصر ان نحفر الجبال ، ونلتقط البرق ، ونطير على متن بساط الريح . . أفلا يمكننا اختراع « طاقية الاخفاء » ، اى ايجاد وسيلة لاخفاء جسم الانسان عن الانظار بصورة تامة ؟

الرجل غير المرئى

يحاول الكاتب الانجليزى ويلز ، فى روايته المعنونة « الرجل غير المرئى » ان يقنع القراء بان امكانية جعل الانسان غير مرئى ، متوفرة فى الواقع تماما . ان بطل هذه الرواية (ويقدمه ويلز للقراء على انه من أكبر عباقرة الفيزياء الموجودين على سطح الارض قاطبة ، ولم يسبق له مثيل ابدا) اكتشف وسيلة تجعل جسم الانسان غير مرئى . واليكم شرح مبدأ هذا الاكتشاف ، كما قدمه بطل الرواية لاحد اصدقائه الاطباء :

« تعتمد الرؤية على تصرف الاجسام المرئية فى الضوء . وانت تعرف بان الاجسام اما ان تمتص الضوء ، او ان تعكسه او تكسره . واذا كان الجسم لا يمتص الضوء ولا يعكسه ولا يكسره ، فانه لا يمكن ان يكون مرئيا بطبيعة الحال . وانك مثلا ، ترى الصندوق الاحمر غير الشفاف ، لان الصبغة تمتص جزءا قليلا من الضوء ، وتعكس (تشتت) الاشعة الباقية منه . واذا لم يمتص الصندوق اى جزء من الضوء ، وعكسه برمته ، لكان سيبدو امام العين وكأنه ناصع البياض كالفضة . ان الصندوق المصنوع من الماس ، يمتص قليلا من الضوء ، ومساحته الكلية تعكس قليلا من الضوء ايضا ، ولكن توجد اماكن معينة من اضلاع الصندوق ، تعكس الضوء وتكسره فى آن واحد ، فتعطى بذلك مظهرا متألقا للانعكاسات البراقة — ويتكون لدينا شكل أشبه ما يكون بالهيكل المتلألئ . اما الصندوق الزجاجى ، فهو اقل لمعانا ، ورؤيته

أقل وضوحا من رؤية الصندوق الماسي ، ذلك لان نسبة الانعكاس والانكسار فيه أقل مما هي عليه بالنسبة للصندوق الماسي . واذا وضعنا قطعة من الزجاج العادي الابيض في الماء ، وخصوصا اذا وضعناها في سائل أكثف من الماء ، فانها ستختفي عن الانظار تماما على وجه التقريب . ذلك لان الضوء الساقط على قطعة الزجاج من خلال الماء ، ينكسر وينعكس بصورة ضعيفة جدا . وتصبح قطعة الزجاج غير مرئية ، مثل تيار من غاز ثاني اكسيد الكربون او غاز الايدروجين ، الموجودين في الهواء ، وذلك لنفس السبب السابق .

وقال الطبيب كيمب لصديقه المكتشف :

— نعم ، ان كل ما ذكرته يعتبر في منتهى البساطة ، وهو في ايامنا هذه معروف لدى كل تلميذ مدرسة .

وواصل المكتشف حديثه قائلا :

— وهذه حقيقة اخرى ، معروفة ايضا لدى كل تلميذ مدرسة ، وهي اننا اذا سحقنا قطعة من الزجاج ، وحولناها الى مسحوق زجاجي ، فان رؤيتها في الهواء ستصبح اكثر وضوحا — ستصبح مسحوقا ابيض غير شفاف . ويحدث ذلك لان عملية السحق ، تؤدي الى مضاعفة سطوح قطعة الزجاج، التي تعكس الضوء وتكسره . ويوجد في اللوح الزجاجي سطحان فقط . اما في المسحوق ، فان كل دقيقة من دقائقه تعكس الضوء الذي يمر من خلالها وتكسره ، ولا ينفذ من خلال المسحوق برمته ، غير جزء قليل جدا من الضوء . ولكننا اذا وضعنا المسحوق الزجاجي الابيض في داخل الماء ، فانه سيختفي عن الانظار في الحال . ان لكل من المسحوق الزجاجي والماء ، معامل انكسار واحد تقريبا ، بحيث لا يعاني الضوء المنتقل من احدهما الى الاخر ، الا قليلا جدا من الانكسار والانعكاس .

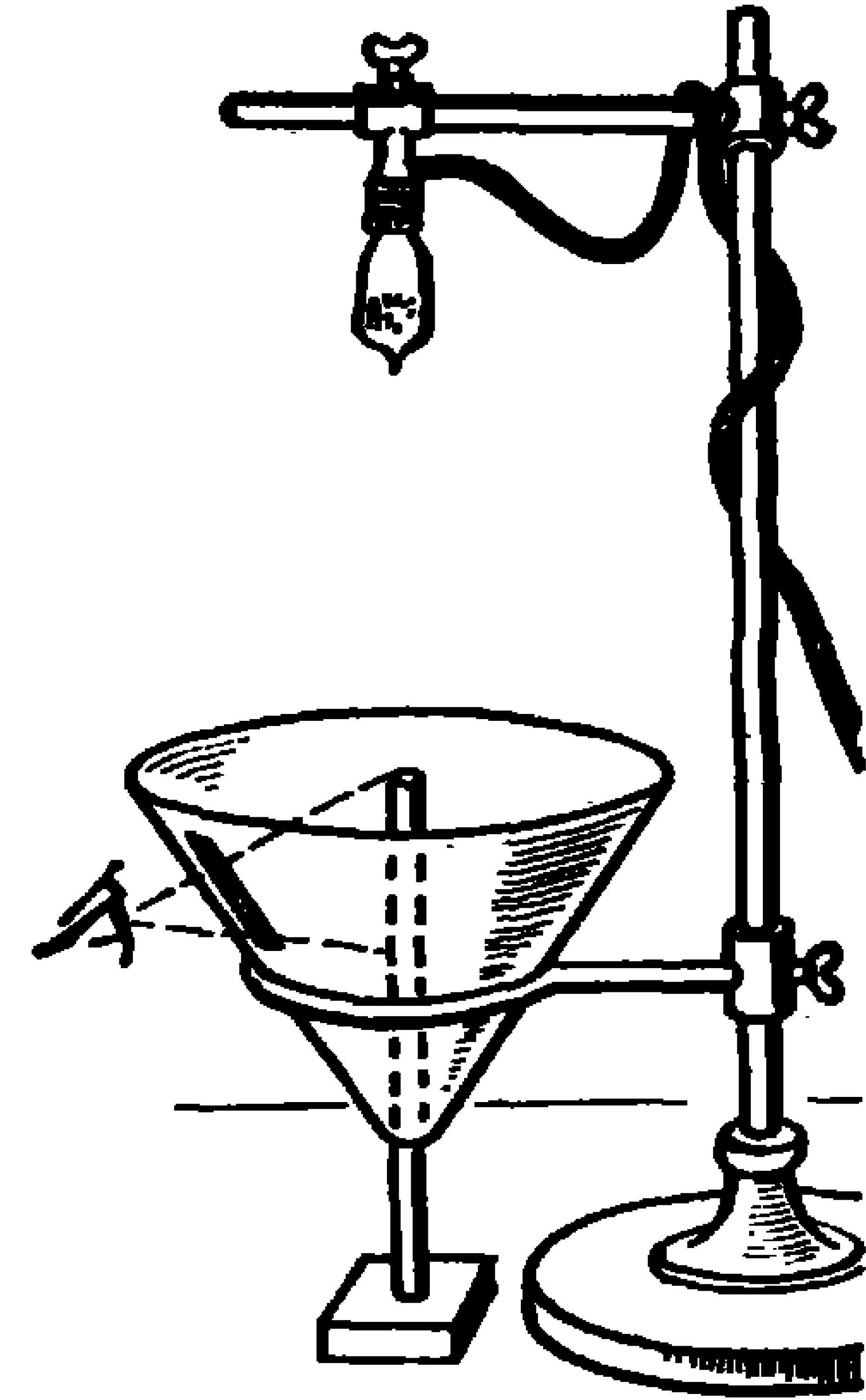
واذا وضعنا الزجاج في سائل ذي معامل انكسار يساوي معامل انكسار الزجاج تقريبا ، فاننا نرى ان الزجاج يختفي عن الانظار . ان كل مادة شفافة تصبح غير مرئية ، اذا وضعت في وسط ، معامل انكساره يساوي معامل انكسار تلك المادة . واذا ما

تعمق المرء قليلا فى هذه المسألة ، فانه يقتنع بامكانية جعل الزجاج غير مرئى ، عند وجوده فى الهواء ايضا . ويتم التوصل الى ذلك ، اذا جعلنا معامل انكسار الزجاج مساويا لمعامل انكسار الهواء . ذلك لان الضوء فى هذه الحالة، سوف لا يتعرض للانعكاس او الانكسار مطلقا * ، عند انتقاله من الزجاج الى الهواء .

ورد الطبيب كيمب على ذلك بقوله :

– ولكن جسم الانسان يختلف عن الزجاج .

– لا ، ان جسم الانسان شفاف اكثر من الزجاج .



شكل ١٠٨ : القضيب الزجاجى غير المرئى.

* يمكننا جعل الجسم الشفاف للغاية، يختفى عن الانظار بالمرة ، وذلك باحاطته بجدران تشتت الضوء بشكل منتظم تماما. ان العين التى تنظر الى الداخل من خلال فتحة جانبية صغيرة ، ستتلقى عندئذ من كافة نقاط الجسم، كمية متساوية من الضوء ، كما لو كان الجسم غير موجود مطلقا ، وذلك لعدم وجود بريق او ظلال يشيران الى وجوده .

ونشرح للقراء الان كيف يمكن اجراء مثل هذه التجربة. نأخذ قمعا من الكارتون الابيض ، قطره ٥٠ سم، ونثبته على مسافة قليلة من مصباح كهربائى قوته ٢٥ واط (شكل ١٠٨) . وندخل فى القمع من الاسفل، قضيبا زجاجيا ، بحيث يكون عموديا تماما قدر الامكان . ذلك لان اقل انحراف عن الوضع العمودى، يؤدى الى ان يظهر القضيب الزجاجى معتما عند محوره ، ومضيئا عند حافاته ، او مضيئا عند محوره ومعتما عند حافاته. وتتحول هاتان الصورتان من واحدة الى اخرى عند اقل تغيير يطرأ على وضع القضيب العمودى. وبعد عدة محاولات متكررة ، يمكن التوصل الى اضاءة القضيب بصورة منتظمة تماما ، وفى هذه الحالة، سيبدو القضيب الزجاجى بالنسبة للعين التى تنظر اليه من خلال فتحة جانبية صغيرة (لا يزيد عرضها على ١ سم) ، وكأنه قد اختفى تماما. وعند اجراء التجربة فى مثل هذه الظروف ، يصبح القضيب الزجاجى غير مرئى، على الرغم من الاختلاف الشديد بين معامل انكسار الزجاج ومعامل انكسار الهواء . وهناك طريقة اخرى ، يمكن بواسطتها ان نجعل قطعة مضلعة من الزجاج مثلا ، تختفى عن الانظار ، وذلك بوضعها فى داخل صندوق ، طليت جدرانه من الداخل ، بطلاء براق .

– هذا كلام فارغ !

– اننى استغرب ان تصدر هذه العبارة من طبيب مثلك ! يا ترى ، هل نسيت علم الفيزياء خلال عشر سنوات ؟ ان الورقة مثلا ، تتكون من الياف شفافة ، وهى بيضاء وغير منفذة ، لنفس السبب الذى جعل المسحوق الزجاجى ابيض وغير منفذ . واذا زيتنا الورقة البيضاء ، وملأنا الفراغات الموجودة بين اليافها بالزيت ، بحيث يحدث الانكسار والانعكاس على سطحها فقط ، فسوف نرى عندئذ ، بان الورقة قد اصبحت شفافة مثل الزجاج . وهذا لا ينطبق على الورقة فحسب ، بل وينطبق كذلك على ألياف الكتان والصوف والشجر ، وعلى عظام الانسان وعضلاته وشعره واظافره واعصابه ! وفى الحقيقة ، فان جميع المواد التى يتركب منها جسم الانسان – ما عدا المادة الحمراء فى الدم والخضاب الاسود للشعر – تتألف من انسجة شفافة عديمة اللون . وهكذا نجد بان هاتين المادتين القليلتين ، تجعلان الناس يرون بعضهم البعض بوضوح تام ! »

ومما يؤكد هذه التصورات ، ان الحيوانات ذات البشرة البيضاء ، والتى لا يغطى جسمها الصوف (وهى الحيوانات التى لا تحتوى أنسجتها على المواد الملونة) ، تمتاز بشفافيتها الواضحة . وقد وصف احد علماء الحيوان ، ضفدعة ذات بشرة بيضاء عثر عليها فى صيف عام ١٩٣٤ ، بالقرب من منطقة ديتسكويا سيلو ، كما يلى : « ان انسجتها الجلدية والعضلية الرقيقة ، شفافة جدا ، بحيث يتمكن المرء من رؤية الاعضاء الداخلية والهيكل العظمى للضفدعة . . . ويمكن بوضوح تام رؤية تقلص عضلات القلب والامعاء ، من خلال الحاجز البطنى » .

ان بطل رواية ويلز ، اخترع وسيلة تجعل كافة انسجة جسم الانسان ، وبضمنها المواد الملونة (الخضاب) شفافة تماما . وقد نجح فى تطبيق هذا الاختراع ، على نفسه بالذات . وكانت التجربة رائعة جدا ، بحيث اصبح المخترع شخصا غير مرئى بالمرة . وسوف نتحدث الان عن مصير هذا الانسان غير المرئى .

ان مؤلف رواية « الرجل غير المرئى » يؤكد للقراء بحذاقة فائقة ومنطق معقول ، بان الرجل الشفاف غير المرئى ، يتمتع بفضل ذلك ، بقوة خارقة لا حدود لها . ويستطيع هذا الرجل ، الدخول خفية الى أية بناية وسرقة اى شئ يريد . ويستطيع هذا الرجل المتخفى ، بفضل عدم التمكن من رؤيته ، ان يقاتل بنجاح جماعة كاملة من الرجال المسلحين . وعندما يهدد هذا الرجل جميع الناس المرئيين بالضرب المبرح ، فانه يسيطر بذلك على سكان مدينة بأكملها . ويستطيع هذا الرجل الذى لا يطعن فى نفس الوقت ، ان يلحق الاذى بجميع الناس الاخرين ، مهما تفننوا فى الدفاع عن أنفسهم ، لان الرجل غير المرئى سيداهمهم ويدحرهم عاجلا ام آجلا .

ويستطيع الرجل غير المرئى الحصول على امتيازات خاصة ، خلافا لبقية الانكليز ، وذلك عندما يوجه الى سكان مدينته المذعورين انذارا من هذا القبيل ، مثلا :

« ان المدينة لم تعد تحت سيطرة الملكة مطلقا ! اخبروا مدير البوليس وجميع الناس بان المدينة قد اصبحت الان تحت سيطرتى ! وهذا هو اليوم الاول من السنة الاولى من العصر الجديد — عصر الانسان غير المرئى ! وانا اول انسان غير مرئى . وسيكون شعارى فى اول يوم من الحكم ، هو العطف والتسامح . وسوف اعدم فى اليوم الاول شخصا واحدا فقط ، ليكون عبرة للاخرين ، واسم هذا الشخص ، كيمب . وفى هذا اليوم بالذات سيلاقى حتفه . ولن ينقذه اى شئ من الموت ، الموت غير المرئى ، الذى يزحف نحوه باصرار ويدركه ، حتى اذا اقفل على نفسه الابواب او اختفى فى مكان ما ، او احاط نفسه بالحراس او ارتدى درعا واقيا ! وليحتاط لامره كما يشاء — ان هذا سيولد انطباعا لدى رعيتى . ان الموت يزحف نحوه ! ولا يجوز لاى احد ان يساعده ، والا كان الموت مصيره ايضا » .

وهكذا كان النصر فى بداية الامر ، حليف الرجل غير المرئى . ولم يستطع سكان المدينة المذعورين ، ان يتخلصوا من عدوهم غير المرئى ، الذى أراد السيطرة عليهم ، الا بصعوبة بالغة .

هل ان الافكار الفيزيائية ، التى تقوم عليها أسس هذه الرواية الخيالية ، صحيحة علميا ؟ نعم ، بدون اى شك . ان كل جسم شفاف ، موضوع فى وسط شفاف ، يصبح غير مرئى ، عندما يقل الفرق بين معاملى الانكسار عن ٠,٠٥ . وبعد مرور عشر سنوات على صدور رواية «الرجل غير المرئى» ، تمكن عالم التشريح الالمانى البروفيسور شبالتيجولتز ، من تحقيق فكرة المؤلف عمليا — ولكن فى الحقيقة ليس بالنسبة للاجسام الحية ، بل بالنسبة لمستحضرات من النماذج غير الحية . اما الآن ، فيمكن مشاهدة النماذج الشفافة المستحضرة من اعضاء الاجسام الحية ، بل يمكن مشاهدة اجسام شفافة لحيوانات بكاملها ، فى عدة متاحف خاصة بذلك .

ان طريقة تحضير النماذج الشفافة ، التى اكتشفها البروفيسور شبالتيجولتز فى عام ١٩١١ ، تتلخص باختصار ، فى انه بعد معالجة النموذج المراد تحضيره معالجة خاصة — التبييض والغسل — يشبع بسائل ساليسيلات الميثيل (وهو عبارة عن سائل عديم اللون ، له معامل انكسار كبير) . ان النماذج المحضرة بهذه الطريقة ، مثل الجرذان والاسماك والاعضاء المختلفة لجسم الانسان وغيرها ، تغمر فى وعاء مملوء بنفس السائل المذكور .

وعند القيام بذلك ، لا يحاول العلماء بطبيعة الحال ، ان يجعلوا النموذج شفافا للغاية ، وذلك لانه سيصبح فى هذه الحالة غير مرئى ، الامر الذى لا يفيد عالم التشريح بتاتا . ولكن عندما يرغب العالم فى ذلك ، يمكنه ان يجعل النموذج غير مرئى بالمرة .

وهذا بطبيعة الحال ، بعيد عن تحقيق حلم ويلز ، المتعلق بالانسان الشفاف جدا ، الى الدرجة التى تجعله غير مرئى تماما . وهذا البعد يعود اولا ، الى حاجتنا الى طريقة ما لمعالجة الانسجة الحية بذلك السائل الشفاف ، بدون ان نجعلها تعجز عن القيام بوظائفها الحيوية . وثانيا ، لان النماذج التى حضرها البروفيسور شبالتيجولتز ، هى نماذج شفافة فقط ، وليست غير مرئية . ويمكن ان تكون انسجة هذه النماذج

غير مرئية ، طالما كانت مغمورة في وعاء مملوء بالسائل ، ذي معامل الانكسار المناسب . وستكون غير مرئية في الهواء ، فقط عندما يصبح معامل انكسارها مساويا لمعامل انكسار الهواء ؛ ولم يستطع احد ان يتوصل الى حل هذه المسألة لحد الآن .

ولكن ، لنفترض اننا سنتوصل بعد مضي زمن معين ، الى ايجاد حل للمسألتين المذكورتين ، ونحقق بذلك حلم الروائي الانكليزي ويلز .

وقد بحث مؤلف الرواية هذه المسألة ، بحثا دقيقا وافيا ، يجعل القارئ يصدق وقائعها بصورة لاارادية . ويبدو في الظاهر بان الرجل غير المرئي ، لا بد وان يكون أقوى من جميع الناس على الاطلاق .

الا ان الامر ليس كذلك ، اذ ثمة مسألة صغيرة ، قد غابت عن ذهن مؤلف الرواية الحاذق ، وتتعلق بقابلية الانسان غير المرئي ، لرؤية الاشياء المحيطة به .

هل يستطيع الرجل غير المرئي ، ان يرى ما حوله ؟

لو طرح ويلز على نفسه هذا السؤال قبل ان يبدأ في كتابة روايته المذكورة ، لما قدر لقصة « الرجل غير المرئي » المدهشة ، ان ترى النور مطلقا .

وفي الحقيقة ، فان هذه المسألة تحطم جميع الآمال المعقودة على القوة الخارقة للرجل غير المرئي . ان الرجل غير المرئي يجب ان يكون أعمى !

ما هو السبب الذي يجعل الرجل غير مرئي ؟ يتلخص السبب في ان كافة اعضاء جسمه — ومن ضمنها العينان ايضا — تصبح شفافة ، ويكون معامل انكسارها مساويا لمعامل انكسار الهواء . ولنتذكر الان الدور الذي تقوم به العين . ان عدسة العين واعضاء البصر الاخرى تكسر اشعة الضوء ، بحيث تنعكس صورة الاجسام الخارجية ، وتسقط على شبكية العين . ولكن عندما يتساوى معامل انكسار العين مع معامل انكسار الهواء ، يزول بذلك السبب الوحيد ، المؤدي الى حدوث الانكسار . وهكذا ، بانتقال الاشعة من وسط الى آخر له نفس معامل الانكسار ، فانها لا تغير اتجاهها . ولذلك لا يمكن ان تتجمع في نقطة واحدة . وسوف تمر الاشعة من خلال

عيني الرجل غير المرئي ، بدون ان يعترض طريقها اى حاجز بتاتا ، وسوف لا تنكسر الاشعة فيهما او تحتجز ، وذلك لعدم وجود اى خضاب * ، وبالتالى لا يمكن ان تولد هذه الاشعة اى احساس بصرى لدى الرجل غير المرئي .

وهكذا ، فان الرجل غير المرئي ، لا يستطيع ان يرى اى شئ من حوله . وبذلك تكون كافة الميزات التى يتمتع بها ، عديمة الفائدة بالنسبة له . وكان هذا الرجل الذى يطمع بالسلطة المطلقة سيسير متحسسا طريقه باللمس ، سائلا الناس ان يتصدقوا عليه ، مع ان اى انسان لن يستطيع مساعدته ، لانه غير مرئي . وهكذا نرى بان هذا الرجل ، الذى اريد له ان يكون أقوى انسان على الارض ، قد استحال الى رجل عاجز ، لا حول له ولا قوة * * .

وقد اتضح لنا الآن ، عدم جدوى الاستمرار فى البحث عن طاقية الاخفاء ، واتباع خطى ويلز فى هذا المجال ، لانها حتى اذا قادتنا الى العثور على تلك الطاقية ، فانها لن تفيدنا بشئ بتاتا .

---

* لاحداث اى احساس بصرى لدى الحيوان ، لا بد ان تولد الاشعة فى عينه بعض التغييرات ، مهما كانت ضئيلة ، اى تقوم الاشعة بانجاز عمل معين . ولهذا الغرض يجب ان تحتجز العين ، ولو كمية قليلة من الاشعة . ولكن العين الشفافة تماما ، لا تتمكن بطبيعة الحال ، من حجز الاشعة ، والا لما اصبحت شفافة . وفى جميع الكائنات الحية الشفافة ، التى تعتمد على شفافيتها فى الدفاع عن نفسها ، تكون العيون — ان وجدت — غير مطلقة الشفافية . ويقول عالم المحيطات المشهور ميرى ، بهذا الصدد : « ان اكثر الحيوانات التى تعيش تحت سطح الماء مباشرة ، تكون شفافة وعديمة اللون . وعندما تقع فى شباك الصيادين ، لا يمكن تمييزها بوضوح ، الا من عيونها السوداء الصغيرة ، ذلك لان دماءها لا تحتوى على مادة الهيموجلوبين (خضاب الدم) ، بالاضافة الى كونها شفافة تماما » .

* * من المحتمل ان يكون ويلز قد اهمل الاشارة الى هذه المسألة عن قصد. والمعروف عن ويلز ، انه يحاول فى كافة رواياته الخيالية ، اخفاء العيب الرئيسى ، وراء جملة من التفاصيل الحقيقية ، التى يسردها للقراء بدقة تامة . وقد كتب فى مقدمة مجموعة رواياته الخيالية المطبوعة فى الولايات المتحدة ، ما يلى : « بعد ان تتم الخدعة السحرية مباشرة ، يجب ان تظهر بقية الاشياء الاخرى ، بمظهر طبيعى بعيد عن التكلف . ويجب على الانسان ان لا يعتمد على قوة الحجج المنطقية ، بل على التخيل الفنى » .

ولكن ثمة طريقة اخرى لحل مسألة « طاقية الاخفاء » . وتتلخص هذه الطريقة ، فى صبغ الاجسام باللون المناسب ، لجعلها غير مرئية بالنسبة للعين . وتلجأ الطبيعة الى هذه الطريقة باستمرار ، عندما تضفى على كائناتها ، صبغة واقية . وتستخدم الطبيعة هذه الطريقة البسيطة ، على نطاق واسع جدا ، لكى تحمى كائناتها من الاعداء ، او لكى تساعدهم فى عملية تنازع البقاء الشاقة .

ان ما يسميه العسكريون اليوم بـ « اللون الواقى » ، كان علماء الحيوان منذ عهد دارون يسمونه بالصبغة الواقية ، او بالتنكر البيئى . ويمكن ان نقدم آلاف الامثلة على ذلك ، من عالم الحيوان ، حيث تقابلنا فى كل خطوة من خطواتنا . ان الحيوانات التى تقطن الصحارى ، تتميز بالصفرة فى أكبر مساحة من جسمها ، وهذه الصفرة هى « لون الصحارى » . ونجد بان هذا اللون الاصفر يطغى على جسم الاسد وأجسام العصافير والحراذين والعناكب والديدان ، وبصورة عامة على جميع الحيوانات ، التى تقطن الصحارى بصورة خاصة . وعلى العكس من ذلك ، نرى بان الحيوانات التى تقطن فى المناطق الجليدية فى الشمال — أكانت الدببة الخطرة فى المناطق القطبية ، ام الطيور الغطاسة المسالمة — مصبوغة باللون الابيض الطبيعى ، الذى يجعل من الصعب اكتشافها عند وجودها فوق الجليد . وللفراشات والاساريع ، التى تعيش على قشرة الاشجار ، لون مناسب ، يشبه لون القشرة التى حد بعيد — مثل الفراشات وغيرها . ان كل من يهتم بجمع الحشرات ، يعرف مدى صعوبة العثور عليها ، بسبب « اللون الواقى » الذى أضفته عليها الطبيعة (اى بسبب التنكر البيئى) . واذا حاول الشخص ان يمسك صرصورا اخضر اللون يصرصر فى العشب عند قدميه ، فانه لن يستطيع تمييزه عن العشب الاخضر ، الذى يندمج فيه لون الصرصور .

وينطبق نفس الشئ على الحيوانات التى تعيش فى المياه . ان لجميع الحيوانات البحرية ، التى تعيش وسط اعشاب البحر السمراء الداكنة ، لونا اسمر « واقيا » ،

يجعلها غير مرئية بالنسبة للعين . اما فى المناطق التى تكثر فيها اعشاب البحر الحمراء فيكون اللون « الواقى » المكتسب ، هو اللون الاحمر . ويعتبر اللون الفضى لحراشف الاسماك ، بمثابة لون واق ايضا . وهو يحمى الاسماك من الطيور الجارحة ، التى تراقبها من فوق الماء ، ومن الوحوش المفترسة التى تعيش فى اعماق البحار ، وتهددها من الاسفل: ان لصفحة الماء مظهرا براقا، ليس عند النظر اليها من الاعلى فحسب، بل والاكثر من ذلك ، عندما ننظر اليها من الاسفل (حيث يكون الانعكاس كليا) . وهكذا ، فان اللون الفضى لحراشف الاسماك ، يندمج كليا مع اللون المعدنى البراق لصفحة الماء .

اما قناديل البحر وغيرها من الحيوانات المائية ، مثل الديدان والمحار والرخويات وغيرها ، فقد اختارت لنفسها الشفافية وانعدام اللون التام ، لتكون غير مرئية فى وسط البيئة الشفافة ، العديمة اللون ، التى تعيش فيها .

ان « ابتكارات » الطبيعة فى هذا المجال ، تفوق ابتكارات الانسان الى حد بعيد . ولكثير من الحيوانات ، قابلية لتغيير لونها الواقى ، طبقا لتغير الوسط الذى يحيطها . ان القاقم * الفضى الابيض ، الذى لا يمكن تمييزه عند وقوفه على الجليد ، كان سيفقد كل مزايا لونه الواقى ، لو لم يغير لون فروته ، عند ذوبان الثلوج . وهكذا نرى بان هذا الحيوان الابيض ، يحصل فى كل موسم ربيعى على فروة جديدة خمرية اللون ، يندمج لونها مع لون الارض ، التى ذابت عنها الثلوج . وعند حلول فصل الشتاء ، يتحول لون الفروة الخمرى الى لون ابيض كالثلج .

اللون الواقى (التمويه)

لقد تعلم الناس من الطبيعة المبدعة ، فن اخفاء اجسامهم ، وذلك بجعل لونها يندمج مع لون الوسط ، الذى توجد فيه . ان الالوان المرقشة للملابس العسكرية البراقة للعصور الماضية ، التى كانت تضفى على المعركة جوا من الروعة والبهاء ، قد

* حيوان من فصيلة بنات عرس.

ذهبت الى الابد بلا رجعة . وقد استعيض عنها بملابس عسكرية ذات لون واحد ، هو اللون الخاكي المعروف . وان لون السفن الحربية الرمادى ، يعتبر بمثابة لون واق ، يجعل السفن صعبة التمييز بالنسبة للعين ، عند وجودها فى البحر . ويدخل فى هذا المجال ايضا ، ما يسمى بـ « التمويه التكتيكى » ، وهو عبارة عن عملية اخفاء الاليات الحربية ، مثل التحصينات والاسلحة والدبابات والسفن ، باستخدام الضباب الصناعى وأغصان الاشجار وغير ذلك من وسائل تضليل العدو . وتخفى المعسكرات بتغطيتها بشبكات خاصة ، ثبتت فى خلاياها حزم من الاعشاب ؛ اما الجنود فيرتدون ملابس خارجية مع حزم من ألياف النباتات ، الملونة بلون الاعشاب ، وهلم جرا . ويستخدم كل من اللون الواقى والتمويه على نطاق واسع فى الطيران الحربى الحديث .

وعندما ننظر من الجو الى الطائرة الجاثمة على الارض ، والمصبوغة باللون البنى او الاخضر الداكن او البنفسجى (طبقا للون سطح الارض) ، فاننا لا نكاد نميزها عن سطح الارض الا بصعوبة .

وكذلك ، فان اخفاء السطوح السفلية للطائرة ، عن الرقابة الارضية ، يتم بصبغها بالالوان التى تطابق لون السماء ؛ وهى الازرق الفاتح والوردى الفاتح والابيض . وتوضع هذه الاصباغ على سطح الطائرة السفلى ، على هيئة بقع صغيرة . وعندما تصبح الطائرة على ارتفاع ٧٥٠ م عن سطح الارض ، تندمج هذه الالوان فى لون واحد ، يصعب تمييزه عن لون السماء . اما على ارتفاع ٣٠٠٠ م ، فان الطائرات المصبوغة بهذه الالوان ، تصبح غير مرئية تماما . وتصبغ قاذفات القنابل ، المعدة للهجوم الليلى ، باللون الاسود .

ان اللون الواقى ينفع فى جميع الاحوال ، اذا وجد هناك سطح صقيل ، يعكس الالوان الخلفية . ان الشئ الذى يكون سطحه مطليا بهذا اللون الواقى ، يكتسب شكل ولون المحيط الذى يوجد فيه بصورة تلقائية ، ولا يمكن تمييزه من مسافة بعيدة . وقد لجأ الالمان فى الحرب العالمية الاولى ، الى استخدام هذه الطريقة لاخفاء مناطيد زبلن * عن الاعداء، وذلك بصبغ سطوحها بصبغة من معدن الالمنيوم الصقيل، الذى

* وهى عبارة عن مناطيد مسيرة اخترعها الكونت زبلن — المترجم .

يعكس صفحة السماء والغيوم . ان ملاحظة هذه المناطيد اثناء طيرانها ، هو امر فى منتهى الصعوبة ، الا اذا دل عليها هدير محركها .

وهكذا نرى بان احلام كتاب القصص الخيالية المتعلقة بطاقية الاخفاء ، تتحقق باستمرار فى الطبيعة وفى المجالات العسكرية .

عين الانسان تحت الماء

ليتصور القارئ ان بامكانه ان يبقى تحت سطح الماء لمدة طويلة جدا ، وان عينيه ستكونان مفتوحتين طوال هذه المدة من الزمن . هل سيتمكن فى هذه الحالة من ان يرى شيئا ما ؟

يبدو فى الظاهر بان الرؤية ممكنة تحت الماء ، كما هى ممكنة فى الهواء ، وذلك لان الماء شفاف .

ولكن ليتذكر القارئ عماء « الرجل غير المرئى » ، الذى لا يستطيع الرؤية ، لان معامل انكسار عينه يساوى معامل انكسار الهواء . وعند وجودنا تحت سطح الماء ، فاننا نخضع لنفس الظروف ، تقريبا ، التى احاطت بالرجل غير المرئى ، عند وجوده فى الهواء . واذا عدنا الى المعطيات الحسابية ، فسيصبح الامر اكثر وضوحا . ان معامل انكسار الماء يساوى ١,٣٤ . ونقدم فيما يلى ، معاملات انكسار الاوساط الشفافة لعين الانسان :

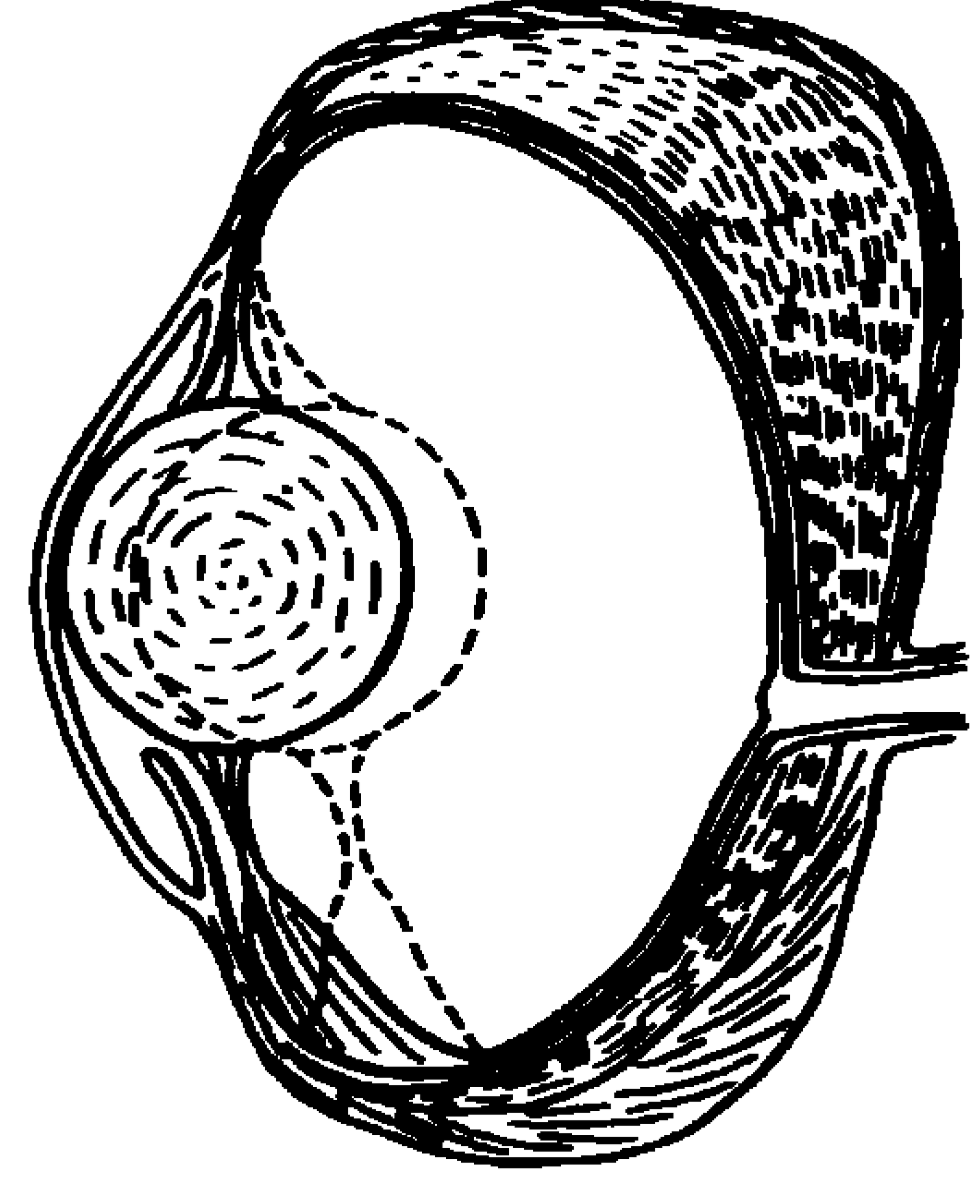
قرنية العين والرطوبة الزجاجية	١,٣٤
عدسة العين	١,٤٣
الرطوبة المائية	١,٣٤

ويلاحظ القارئ بان معامل انكسار عدسة العين ، لا يزيد على معامل انكسار الماء الا بمقدار $\frac{١}{١٠}$ فقط ، بينما يكون معامل انكسار الاجزاء الباقية للعين ، مساويا لمعامل انكسار الماء . ولهذا السبب ، فان بؤرة الاشعة الساقطة على العين الموجودة

تحت الماء ، تقع وراء شبكية العين بمسافة بعيدة . ولهذا ، تكون الصورة المنعكسة على شبكية العين بالذات ، مضطربة ولا يمكن تمييز أى شئ منها الا بصعوبة بالغة . والمصابون بقصر النظر الحاد يستطيعون الرؤية تحت سطح الماء ، بصورة طبيعية نوعا ما .

واذا اراد القارئ ان يرى بنفسه كيف تبدو الاشياء للعين تحت سطح الماء ، فعليه ان يضع على عينيه نظارة ، ذات عدسات قوية التشتيت للضوء (مقعرة الوجهين). عندئذ ستصبح بؤرة الاشعة المنكسرة فى العين ، بعيدة خلف شبكية العين ، وتبدو الاشياء المحيطة بنا، بأشكال غير واضحة ومضطربة.

ولكن ، ألا يستطيع الشخص الموجود تحت سطح الماء، استخدام عدسات ذات معامل انكسار كبير ، لمساعدة عينيه على الرؤية الواضحة ؟



شكل ١٠٩ : مقطع عرضى لعين السمكة . ان عدسة العين كروية الشكل ولا يتغير هذا الشكل عند تكيف العين بالنسبة للمسافة . وبدلا من تغير الشكل الكروى يتغير موضع العدسة فى داخل العين ، كما يتضح من الخطوط المنقطة .

ان العدسات العادية ، المستخدمة فى النظارات ، لا تنفع كثيرا فى هذه الحالة ، لان معامل انكسار العدسة البسيطة يساوى ١,٥ ، اى اكبر بقليل من معامل انكسار الماء (١,٣٤) . ان مثل هذه العدسات تكسر أشعة الضوء تحت سطح الماء ، بدرجة قليلة جدا . ولا بد فى هذه الحالة من الحصول على عدسات خاصة ، تمتاز بمعامل انكسار كبير جدا (وتصنع من الزجاج الطّرانى الثقيل ، الذى يساوى معامل انكساره ٢) . وباستخدام مثل هذه النظارات ، يكون باستطاعتنا ان نرى الاشياء تحت سطح الماء ، بوضوح كاف نوعا ما (سوف نتحدث فيما بعد عن النظارات الخاصة ــ النظارات الواقية ــ التى يستخدمها الغواصون) .

والآن ، يتضح سبب تحدب عدسة عين السمكة ، تحدبا شديدا ، بحيث

اصبحت كروية فى الحقيقة ، كما ان معامل انكسارها ، يعتبر من اكبر معاملات الانكسار الموجودة فى عيون بقية الحيوانات الاخرى . ولولا ذلك ، لما كانت العيون تفيد الاسماك ، التى كتب عليها ان تعيش فى وسط شفاف ، ذى معامل انكسار كبير .

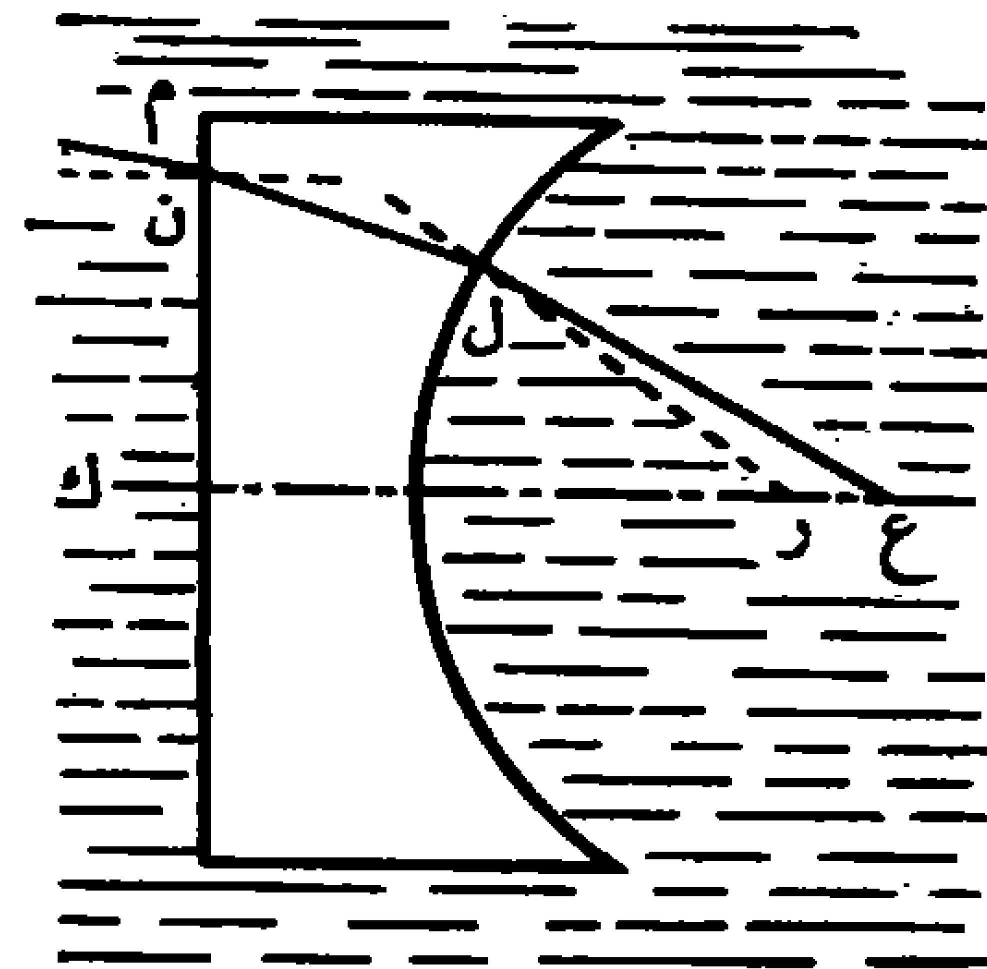
كيف يرى الغطاسون ما حولهم ؟

ربما يتساءل الكثيرون عن الرؤية بالنسبة للغواصين ، الذين يعملون تحت الماء ، وهم يرتدون ملابس الغوص ، وعما اذا كان باستطاعتهم تمييز الاشياء تحت الماء ، فى الوقت الذى لا تكسر فيه عيونهم اية كمية من أشعة الضوء تقريبا . هذا مع العلم بان خوذة ملابس الغوص ، مزودة بقطعة زجاج مسطحة وليست محدبة . والآن ، هل كان باستطاعة ركاب غواصة جول فيرن « ناوتيلوس » ان يتمتعوا بمشاهدة مناظر البحر الداخلية ، من خلال النافذة ؟

ان هذا سؤال جديد ، ليس من الصعب ان نجيب عليه . ان الاجابة تصبح واضحة ، اذا اخذنا فى الاعتبار ، باننا عندما نغطس فى الماء بدون خوذة الغوص او قناع الماء ، يكون الماء ملاصقا للعين مباشرة . اما عندما نرتدى خوذة الغوص (او نكون مثلا ، فى داخل الغواصة ناوتيلوس) ، فان العين تكون معزولة عن الماء بطبقة من الهواء (والزجاج) . وهذا يغير المسألة تغييرا جوهريا . فعندما تخرج أشعة الضوء من الماء وتمر من خلال الزجاج ، تصطدم بالهواء قبل ان تصل الى العين . وبخروج الاشعة من الماء ومرورها من خلال الزجاج المسطح المتوازى ، بزاوية معينة ، فانها — حسب قوانين البصريات — تخرج من الزجاج دون ان تغير اتجاهها . ولكنها بعد ذلك عندما تمر من الهواء الى العين ، تنكسر بطبيعة الحال — وهنا تقوم العين بنفس المهمة ، التى تقوم بها عند وجود الانسان على اليابسة . وهذا هو سر التناقض الذى جعلنا فى حيرة من امرنا . واحسن مثال توضيحى على ذلك ، هو رؤية الاسماك التى تسبح فى الحوض الزجاجى ، رؤية واضحة جدا .

العدسات تحت سطح الماء

هل حاول القارئ القيام بهذه التجربة البسيطة التالية : نغمر عدسة محدبة الوجهين (مكبرة) في داخل الماء ، وننظر من خلالها الى الاجسام المغمورة فى الماء ايضا . اذا قام القارئ بهذه التجربة ، فسوف يندهش عندما يرى شيئا لم يتوقعه ، وهو ان العدسة المكبرة ، لا تكبر الاشياء تقريبا ، عند وجودها في الماء ! واذا غمرنا عدسة مصغرة فى الماء (اى عدسة مقعرة الوجهين) ، فسوف نرى بانها تفقد فى الماء خاصية التصغير الى درجة كبيرة . اما اذا اعدنا هذه التجربة ، مع استخدام سائل آخر – عوضا عن الماء – ذى معامل انكسار اكبر من معامل انكسار الزجاج ، فسوف نرى بان العدسة المحدبة الوجهين (المكبرة) تصغر الاشياء ، والعدسة المقعرة الوجهين (المصغرة) تكبر الاشياء ! ولكن اذا تذكرنا جيدا قانون انكسار أشعة الضوء ، فسوف تزول دهشتنا لهذه النتائج غير الطبيعية . ان العدسة المحدبة الوجهين ، تكبر الاشياء فى الهواء ، لان الزجاج يكسر الضوء اكثر مما يكسره الهواء المحيط به . ولكن الفرق قليل بين معاملى انكسار الزجاج والماء . ولهذا ، فعندما نغمر العدسة فى الماء ، فان أشعة الضوء المارة من الماء الى الزجاج ، لاتنحرف كثيرا عن اتجاهها الاصلى. ولذلك ، فان العدسة المكبرة المغمورة فى الماء ، تكبر الاشياء بقدر اضعف بكثير مما تكبرها فى الهواء ، والعدسة المصغرة بدورها تصبح أضعف قدرة على التصغير .



شكل ١١٠ : تتكون نظارات الغطاسين من عدسات مسطحة مقعرة مملوءة بالهواء . وبانكسار الشعاع م ن ، فانه يمر فى الاتجاه م ن ل ع ، ويبتعد عن عمود السقوط فى داخل العدسة ، ويقترب منه (اى من ل ر) خارج العدسة . ولهذا السبب تقوم العدسة بدور زجاج التجميع .

ان سائل المونوبرومنفتالين مثلا ، يكسر الاشعة اكثر من الزجاج . ولذلك ،

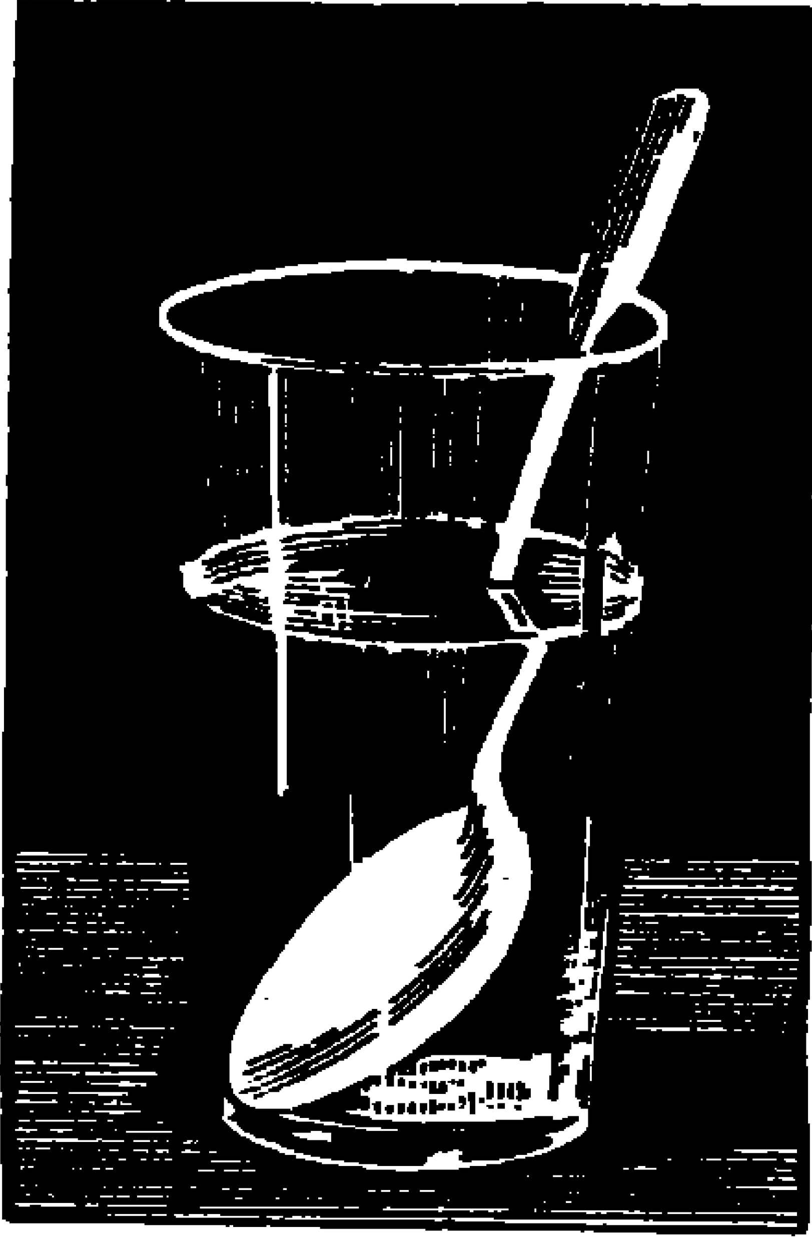
فان العدسة المكبرة المغمورة فى هذا السائل ، تصغر الاشياء ، بينما العدسة المصغرة ، تكبر الاشياء .

والعدسات المجوفة (او بالاحرى المملؤة بالهواء) ، تقوم بنفس العمل فى داخل الماء ، حيث تعمل العدسات المقعرة على تكبير الاشياء ، بينما تعمل العدسات المحدبة على تصغير الاشياء . وتعتبر عدسات نظارات الغطس الواقية ، من العدسات المملوءة بالهواء بالذات (شكل ١١٠) .

السباحون القليلو الخبرة

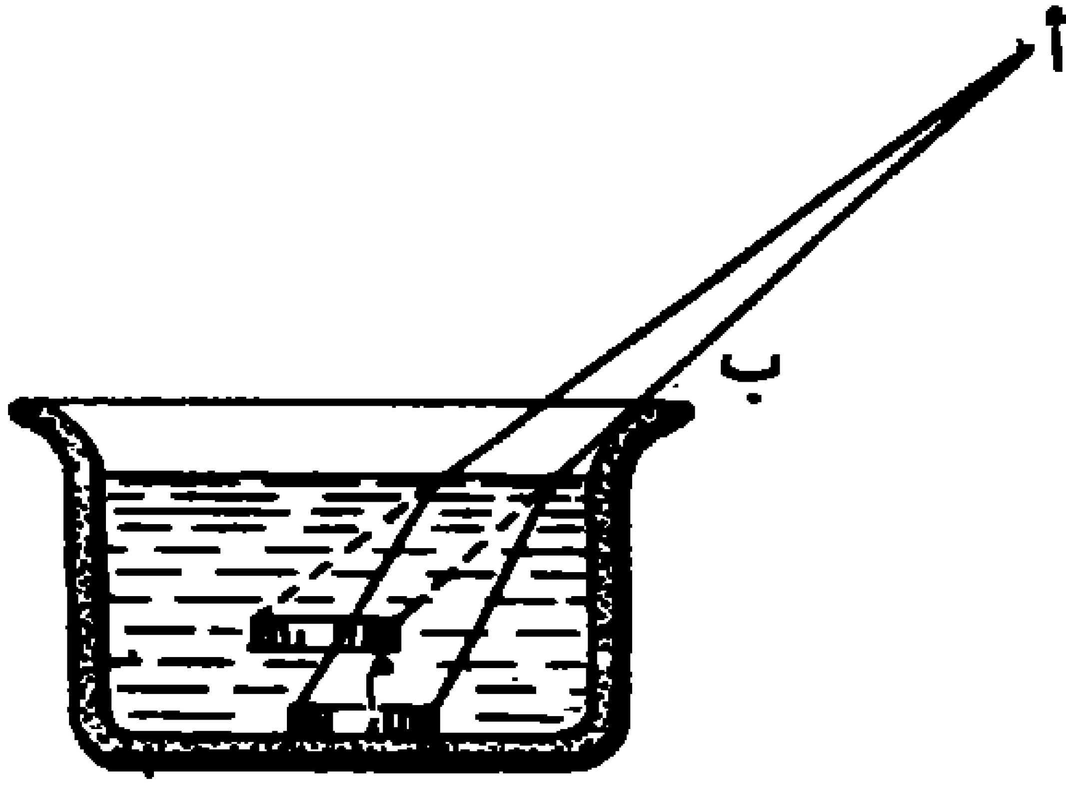
كثيرا ما يتعرض السباحون القليلو الخبرة ، الى خطر كبير لسبب واحد فقط ، هو عدم ادراكهم لاحدى نتائج انكسار الضوء المهمة . وهى ان الانكسار يؤدى الى ظهور الاشياء المغمورة فى الماء ، فى مستوى اعلى من مستواها الحقيقى بالذات . ان قاع البركة او النهر او اى حوض ماء ، يبدو لعين الناظر مرتفعا الى ثلث العمق الحقيقى تقريبا . وهذا العمق الظاهرى ، كثيرا ما يخدع الناس المستحمين ، ويعرضهم الى شتى المخاطر . ويجب دائما تذكير الاطفال والناس الذين لا يجيدون السباحة ، بهذه الحقيقة ، لان الخطأ فى تقدير العمق قد يؤدى بهم الى الموت غرقا .

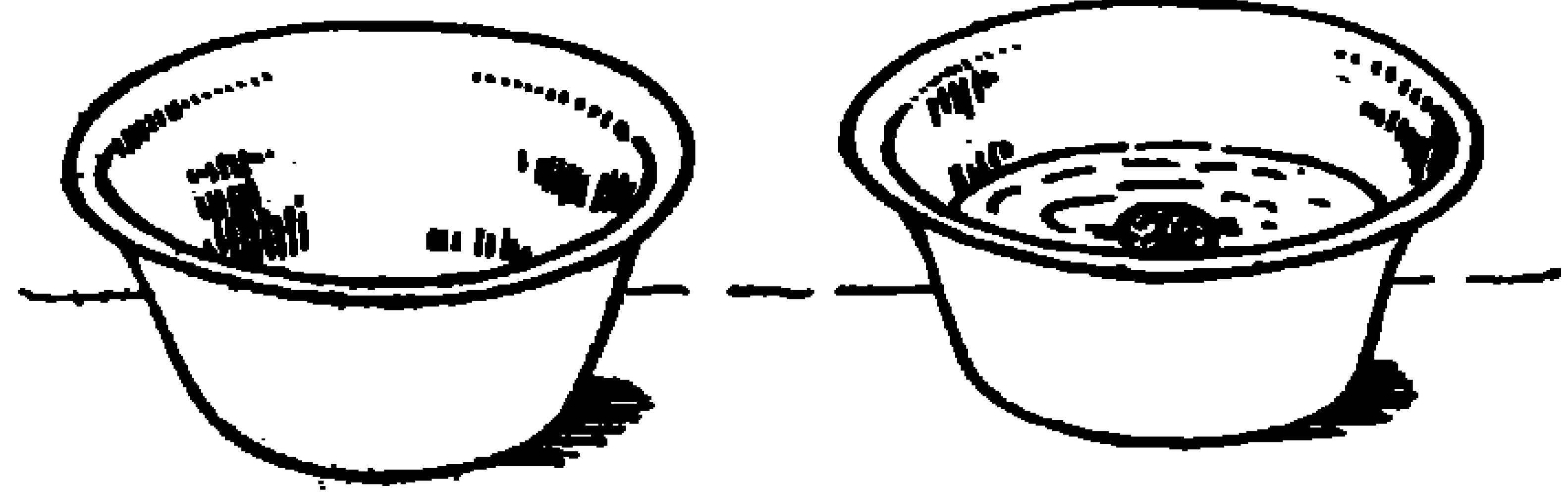
وسبب هذه الظاهرة ، هو انكسار اشعة الضوء . ان نفس القانون البصرى ، الذى يجعل الملعقة المغمورة الى نصفها فى كأس الماء تبدو وكأنها مكسورة (شكل ١١١) ، هو الذى يجعل قاع البركة او النهر ، يبدو اعلى مما هو عليه .



شكل ١١١ : الصورة المشوهة للملعقة الموضوعة فى داخل قدح فيه ماء .

ويستطيع القارئ ان يتأكد من صحة ذلك . اطلب من احد الاصدقاء ان يجلس



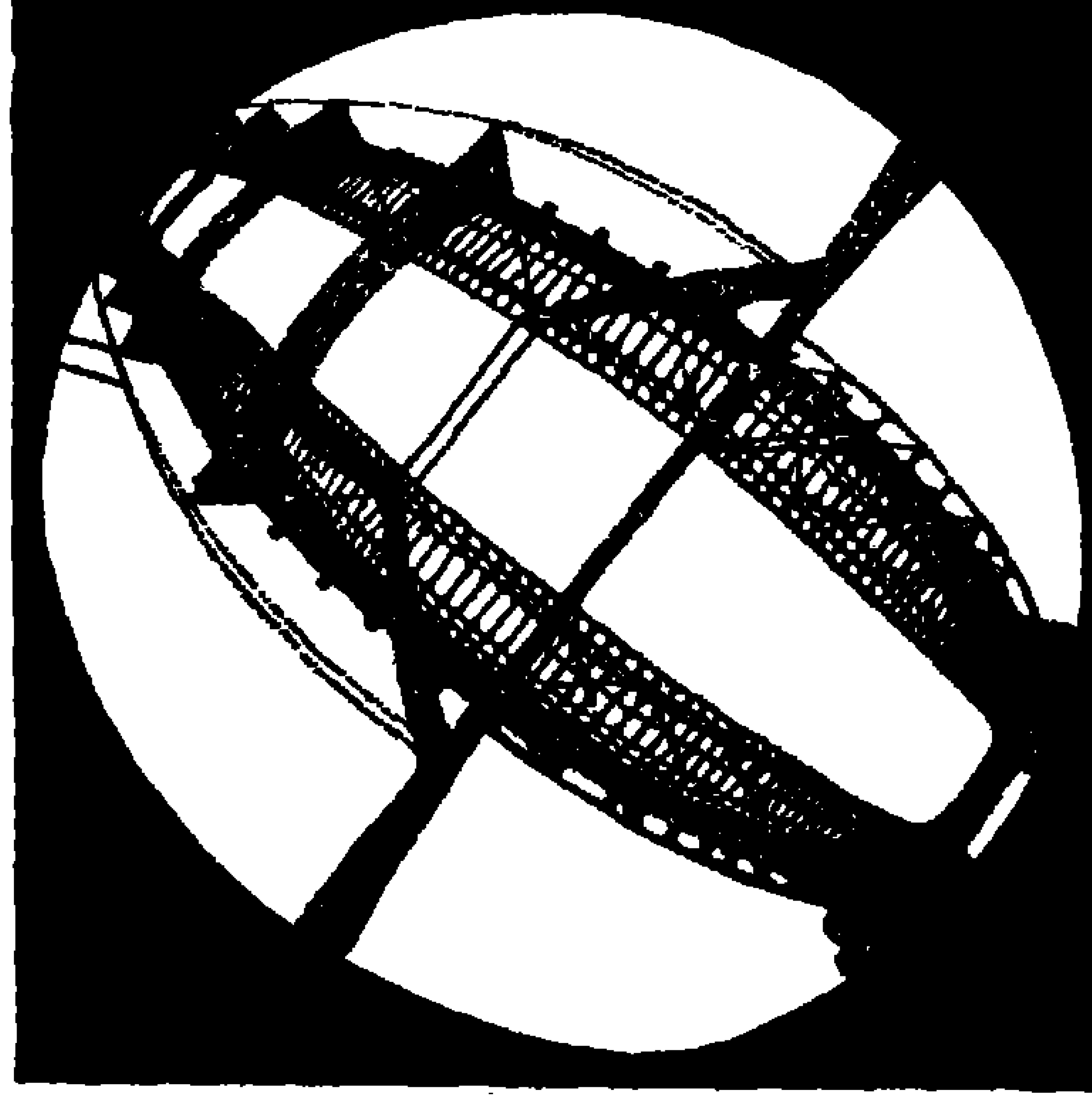


شكل ١١٢ : تجربة قطعة النقود الموضوعة فى الفنجان .

شكل ١١٣ : السبب الذى يجعل قطعة النقود اسهينة فى الشكل ١١٢ ، تبدو فى موضع اعلى من موضعها الحقيقى .

الى المائدة ، بحيث لا يمكنه روية قعر الفنجان الموضوع امامه . ثم ضع قطعة نقود فى قعر الفنجان ، بحيث تكون بطبيعة الحال مخفية عن عينى ذلك الصديق ، وراء جدران الفنجان التى تحجب رؤيتها عنه . والآن اطلب من صديقك ألا يحرك رأسه ، ثم صب الماء فى ذلك الفنجان . وهنا ستحدث مفاجأة غير متوقعة ، اذ سيرى صديقك قطعة النقود الموجودة فى قعر الفنجان ! وعندما نفرغ الماء من الفنجان ، نرى بان القعر ينخفض ويخفض معه قطعة النقود ، فتتوارى عن عينى ذلك الصديق مرة اخرى (شكل ١١٢) .

والشكل ١١٣ يبين كيفية حدوث هذه الظاهرة . ان قطعة النقود م ، الموضوعة فى قعر الفنجان ، تبدو للناظر (الذى تقع عينه فى النقطة أ فوق الماء) ، فى وضعية مرتفعة . ان الاشعة تنكسر ، وبانتقالها من الماء الى الهواء ، تسقط على العين كما هو مبين فى الشكل . وهكذا ، فان العين ترى قطعة النقود ، على امتداد خطوط الاشعة هذه ، اى فوق الموضع الحقيقى للقطعة المذكورة . وكلما زاد ميل الاشعة ، كلما زاد ارتفاع موضع القطعة م . ولهذا السبب ، فاننا عندما ننظر من القارب الى قاع البحيرة المستوى ، يبدو لنا على الدوام بان جزء القاع الموجود تحتنا تماما ، هو اعمق من بقية الاجزاء المحيطة به .

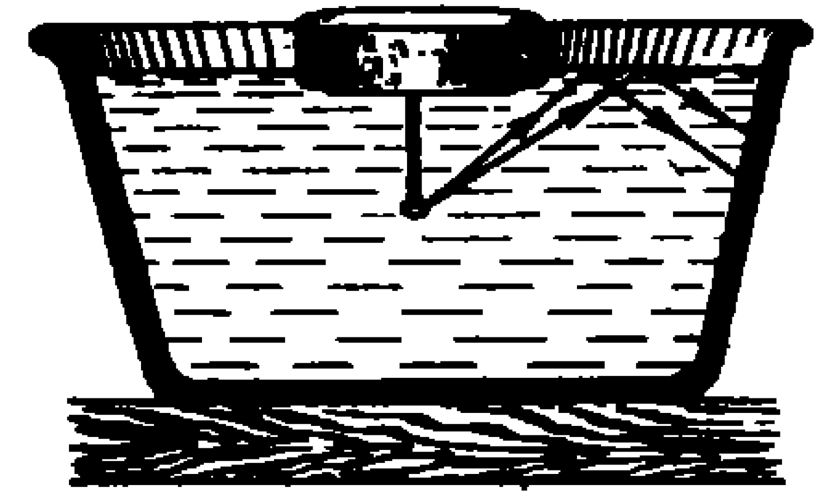


شكل ١١٤ : هكذا يبدو الجسر الممدود عبر النهر ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء (من صورة التقطها البروفيسور وود).

وهكذا يظهر امامنا بان القاع مقعر . وعلى العكس من ذلك ، فاننا اذا استطعنا ان ننظر من قاع البحيرة الى الجسر (الكوبرى) الممتد فوقها ، لظهر امامنا وكأنه محدب (كما يبدو فى الشكل ١١٤ ؛ اما طريقة الحصول على هذه الصورة ، فسوف نتطرق اليها فيما بعد) . وفى هذه الحالة ، تنتقل الاشعة من وسط كاسر ضعيف (الهواء) ، الى وسط كاسر قوى (الماء) . ولهذا السبب ، يكون التأثير على عكس ما هو عليه ، فى حالة انتقال الاشعة من الماء الى الهواء . ولنفس السبب السابق بالذات ، فان الاسماك الموجودة فى الحوض الزجاجى ، يجب ان ترى صف الناس الواقفين بقرب الحوض ، لا بشكل مستقيم كما هو عليه فى الواقع ، بل بشكل محدب نحوها . وسوف نوضح فيما بعد ، كيف كانت الاسماك سترى ما حولها ، او بالاحرى كيف كان يتحتم عليها ان تبصر ، لو كانت لديها عيون بشرية .

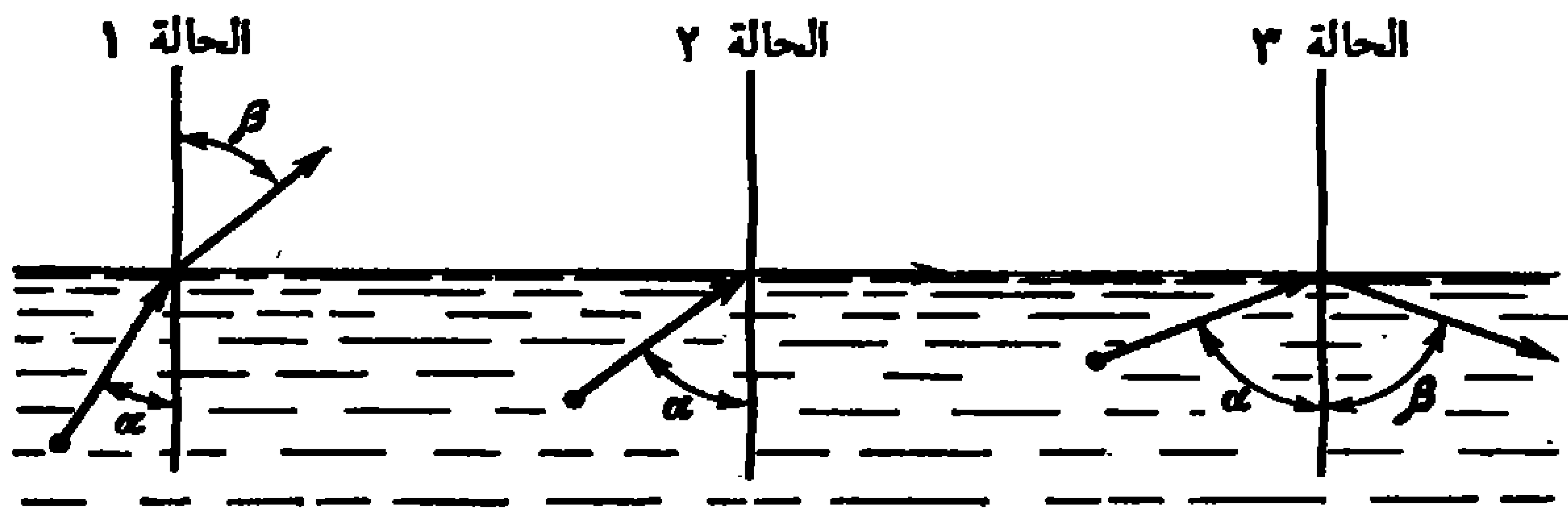
الدبوس غير المرئي

نأخذ دبوسا ونغرزه فى قرص من الفلين ، ثم نجعل القرص يطفو على سطح الماء الموجود فى طاس ، بحيث يكون الدبوس متجها الى الاسفل ، اى مغمورا فى الماء . واذا لم يكن قرص الفلين واسعا جدا ، فاننا سوف لن نتمكن من رؤية الدبوس مهما حنينا رؤوسنا ، مع ان الدبوس يبدو فى الواقع طويلا لدرجة كافية ، بحيث لا يمكن لقرص الفلين ان يخفيه عن انظارنا (شكل ١١٥) . ما هو سبب عدم وصول الاشعة الضوئية من الدبوس الى العين ؟ ان السبب يعود الى تعرض الاشعة الى ما يسميه الفيزيائيون بـ « الانعكاس الكلى » . وسنذكر القراء الان بماهية هذه الظاهرة .



شكل ١١٥ : تجربة الدبوس غير المرئى وهو فى داخل الماء .

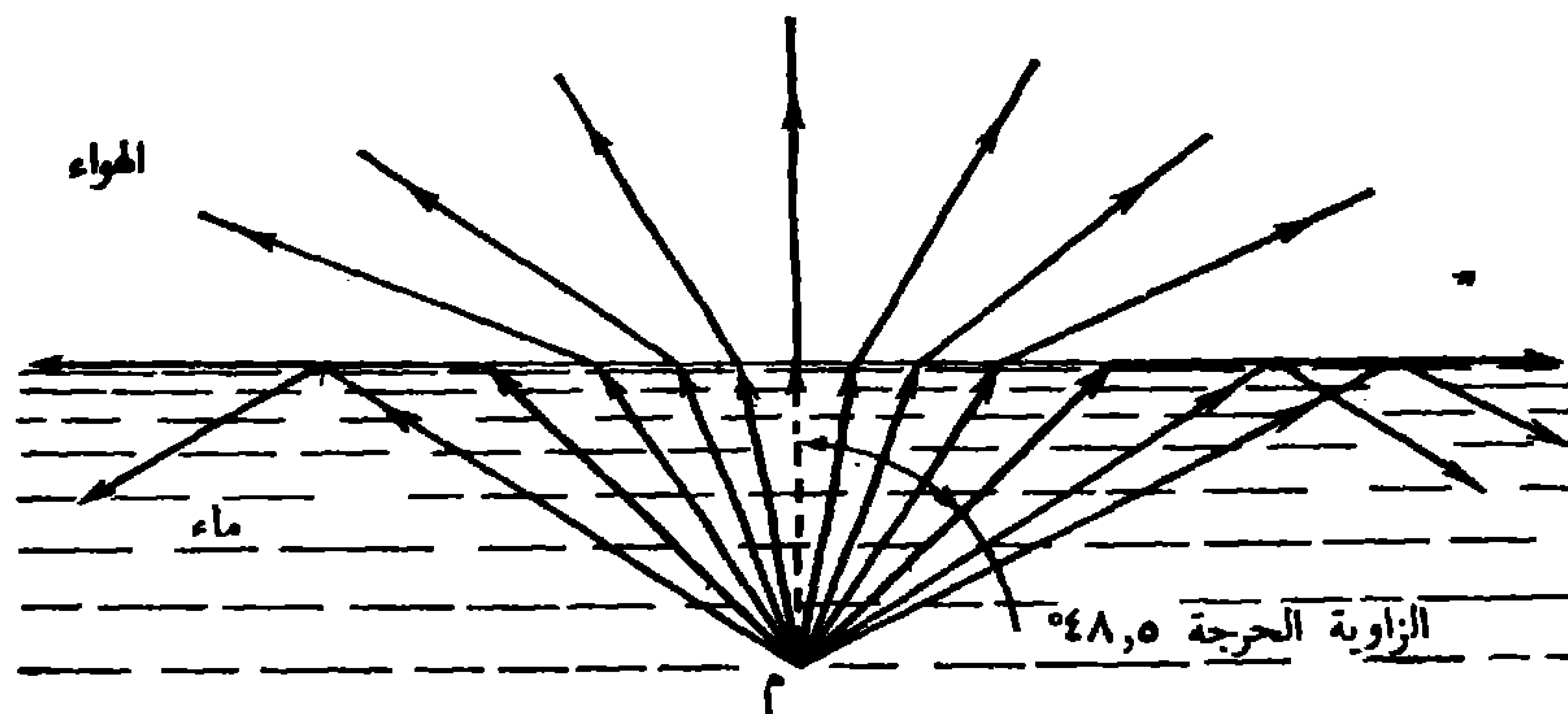
ان الشكل ١١٦ ، يبين بوضوح ، الطرق التى تسلكها الاشعة ، عند انتقالها من الماء الى الهواء (وبصورة عامة ، عند انتقالها من وسط كاسر معين ، الى وسط كاسر آخر اضعف منه) ، ومن الهواء الى الماء . وعندما تدخل الاشعة من الهواء الى الماء ، فانها تقترب من « عمود السقوط » ؛ فالشعاع الساقط على سطح الماء ،



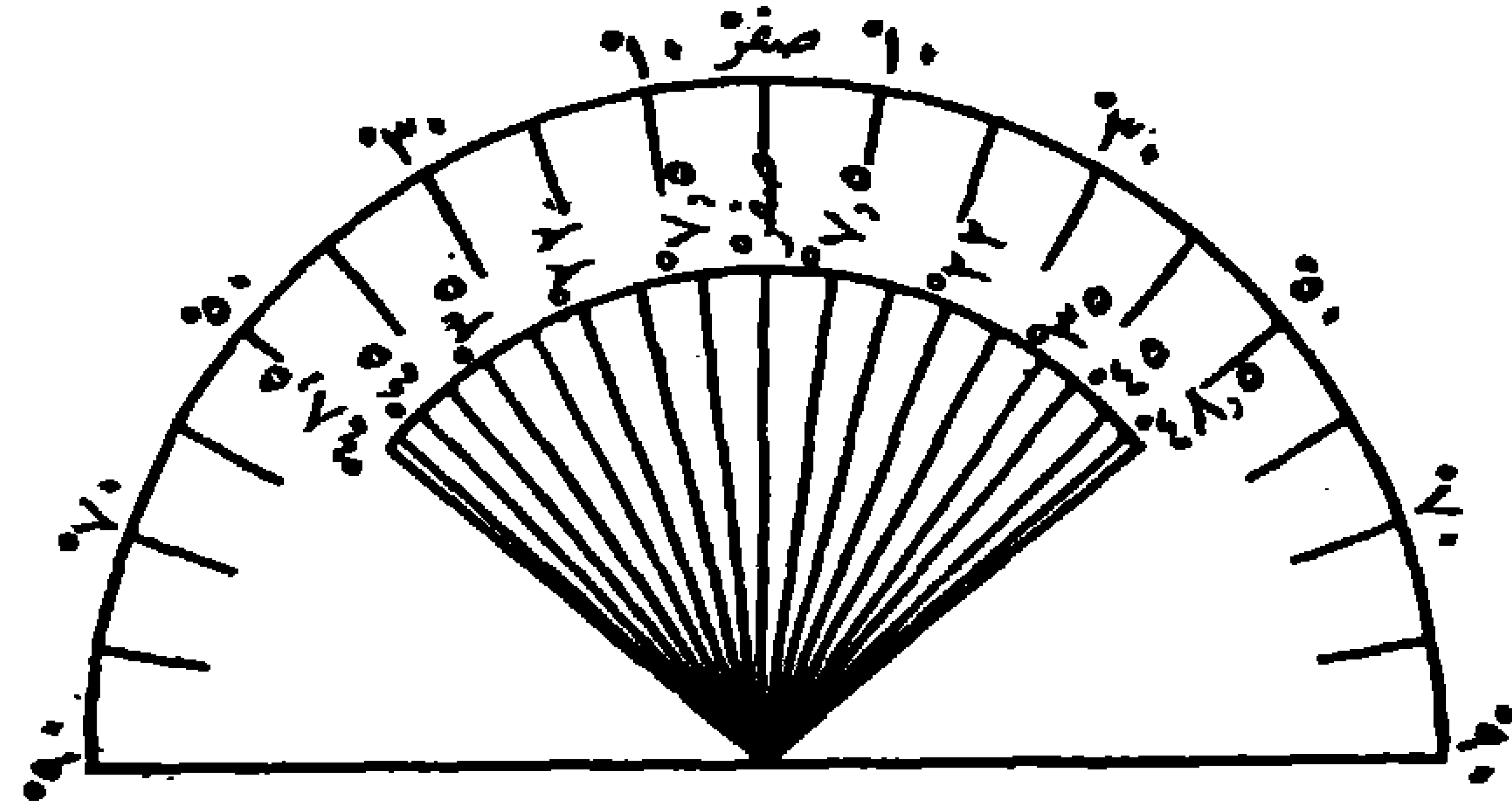
شكل ١١٦ : الحالات المختلفة لانكسار الشعاع عند انتقاله من الماء الى الهواء . فى الحالة ٢ يسقط الشعاع بحيث يصنع زاوية حرجة مع عمود السقوط ، ويخرج من الماء منزلقا بمحاذاة سطحه . وتمثل الحالة ٣ الانعكاس الكلى الداخلى للشعاع .

الذى يشكل الزاوية β مع عمود السقوط ومستوى السقوط يشكل الزاوية α عند دخوله الى الماء، وهى أقل من الزاوية β (شكل ١١٦ ، الحالة الاولى ، مع اعتبار الاشعة متجهة فى الاتجاه المعاكس) . ولكن ، ماذا يحدث عندما يزحف الشعاع الساقط ، منزلقا على سطح الماء ، بحيث يشكل زاوية قائمة تقريبا ، مع عمود السقوط ؟ فى هذه الحالة يدخل الشعاع الى الماء ، بزاوية اقل من الزاوية القائمة ، وقدرها ٤٨,٥° فقط . ولا يمكن ان يدخل الشعاع الى الماء ، اذا كانت الزاوية التى يشكلها مع عمود السقوط ، تزيد على ٤٨,٥° ؛ وهذه هى الزاوية «الحرجة» بالنسبة للماء . ولا بد من ايضاح هذه العلاقات البسيطة ، لكى نفهم النتائج العجيبة غير المتوقعة بالمرة ، والمترتبة على قانون انكسار الاشعة الضوئية .

لقد علمنا الآن ، بان الاشعة الساقطة على الماء ، بمختلف الزوايا الممكنة ، تنحصر تحت الماء فى مخروط مضموم لدرجة كافية، وبزاوية انتشار قدرها ٤٨,٥+ ٤٨,٥ =٩٧° . والآن ، لنتتبع الطرق التى تسلكها الاشعة ، عند خروجها من الماء الى الهواء (شكل ١١٧) . ان هذه الطرق ، حسب قوانين البصريات ، يجب ان تكون نفس الطرق السابقة ، كما ان كافة الاشعة المحصورة فى المخروط المذكور



شكل ١١٧ : ان الاشعة المنبعثة من النقطة م والتى تصنع مع عمود السقوط زاوية اكبر من الزاوية الحرجة (بالنسبة للماء ٤٨,٥ درجة) ، لا تخرج من الماء الى الهواء بل تنعكس برمتها الى داخل الماء .



شكل ١١٨ : ان قوس العالم الخارجي الذي يبلغ ١٨٠ درجة يتقلص امام عيني المراقب الموجود تحت الماء ويصل مقداره الى ٩٧ درجة فقط . ويزداد هذا التقلص كلما زادت المسافة بين جزء القوس المرئي والنقطة السمتية (صفر°) .

بدرجة ٩٧° ، تتفرق في الهواء بزوايا مختلفة ، وتتوزع في كافة ارجاء الفراغ الموجود فوق الماء ، على مدى زاويته البالغة ١٨٠° .

ولكن ، اين يذهب الشعاع الموجود تحت الماء ، الذي يقع خارج المخروط المذكور ؟ انه لا يخرج من الماء مطلقا ، حيث ينعكس كليا على سطح الماء من الداخل ، كما ينعكس على المرآة . وبصورة عامة ، فان كل شعاع من الاشعة الموجودة تحت الماء ، اذا سقط على سطح الماء ، بزاوية اكبر من الزاوية الحرجة (اى اكبر من ٤٨,٥°) ، فانه لا ينكسر بل ينعكس ، حيث يتعرض الى ما يسميه الفيزياثيون بالانعكاس الكلي* .

ولو تعلمت الاسماك الفيزياء ، لكان أهم مواضيع البصريات بالنسبة اليها ، هو الموضوع الخاص بـ« الانعكاس الكلي » ، ذلك لان لهذا الموضوع اهمية رئيسية

* يسمى الانعكاس في هذه الحالة انعكاسا كليا ، لان جميع الاشعة الساقطة تنعكس ، بينما نرى بان حتى احسن انواع المرايا ، المصنوعة من معدن المغنسيوم او الفضة الصفيلين ، لا تعكس الا قسما من الاشعة الساقطة عليها ، وتمتص القسم الباقي . وهكذا نجد بان الماء في هذه الحالة ، يكون بمثابة مرآة مثالية .

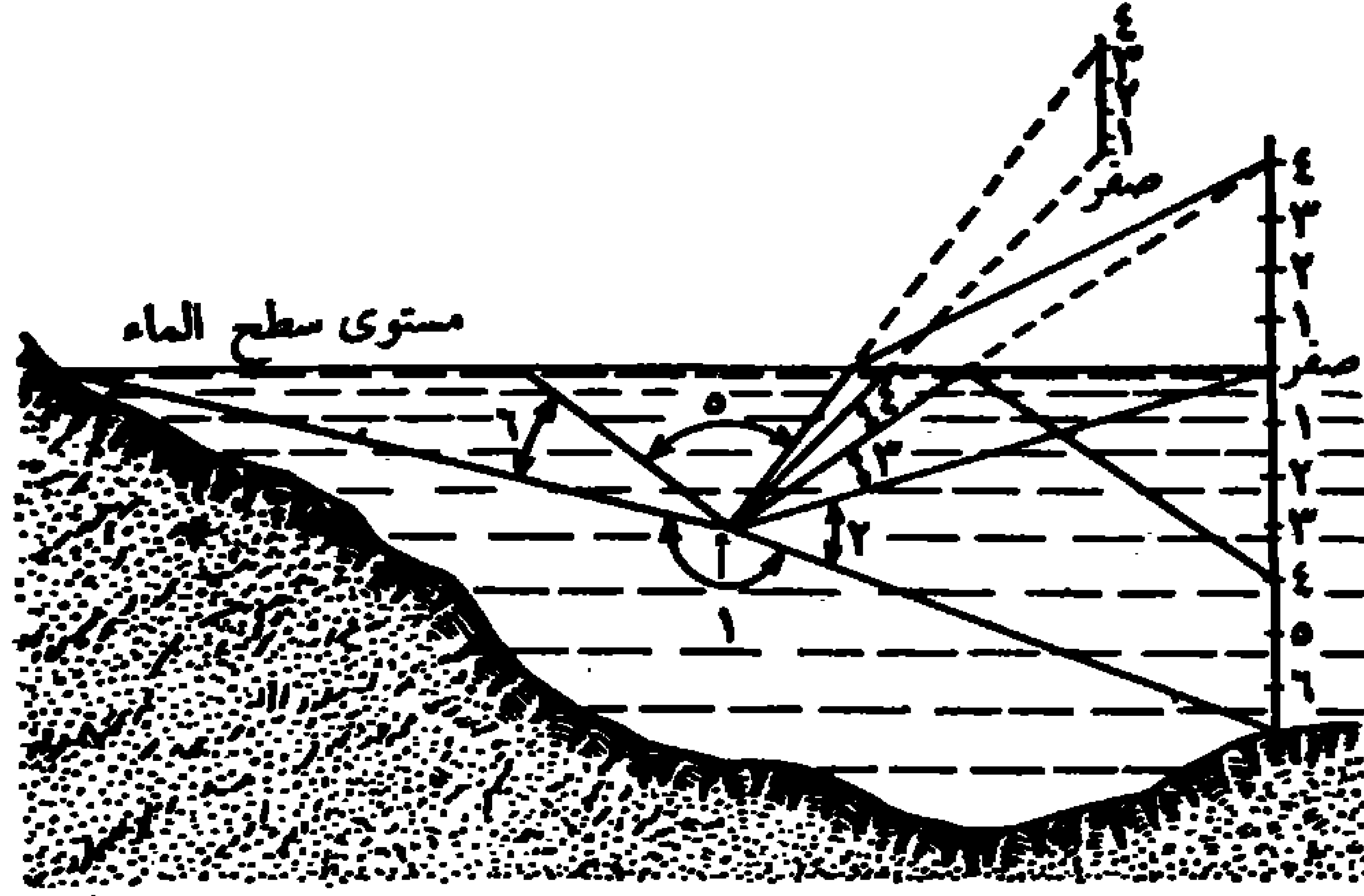
بالنسبة لابصار السمك تحت الماء . ان وجود اللون الفضى فى كثير من الاسماك ، يكون على الارجح ، متعلقا بخواص الابصار تحت سطح الماء . ويعتقد علماء الحيوان ، بان هذا اللون هو نتيجة لتكيف الاسماك للضوء الذى ينشره سطح الماء فوقهم . وعندما نراقب سطح الماء من الاسفل ، نراه صقيلا تماما ، وذلك نتيجة « للانعكاس الكلى » ؛ وعند وجود مثل هذه الخلفية ، تصبح الاسماك الفضية اللون ، صعبة التمييز بالنسبة لبقية الحيوانات المائية المفترسة ، التى تحاول اصطيادها .

نظرة الى العالم من تحت الماء

لا يشك الكثيرون فى ان العالم سيبدو غير طبيعى ، اذا نظرنا اليه من تحت الماء ، حيث انه سيبدو للعين فى هذه الحالة ، متغيرا ومشوها ، الى حد يجعل من الصعب التعرف عليه .

لنتصور باننا غطسنا فى الماء ، وبدأنا من هناك بالقاء نظرة على العالم الخارجى . ان شكل الغيوم المعلقة فى كبد السماء ، فوق رأسنا مباشرة ، سوف لا يتغير بتاتا ، ذلك لان الشعاع العمودى لا ينكسر ، فى حين تبدو كافة الاشياء الاخرى ، التى تسقط أشعتها على سطح الماء بزوايا حادة ، مشوهة بالنسبة للعين ، كما لو كانت منضغطة الارتفاع . ويزداد هذا الانضغاط شدة ، كلما كانت زوايا سقوط أشعتها على سطح الماء ، حادة اكثر . وهذا مفهوم طبعا ، لان كل الاشياء الموجودة خارج الماء ، يجب ان تنحصر فى ذلك المخروط الضيق ، تحت سطح الماء . وتختصر الزاوية ١٨٠° الى ٩٧° ، اى الى النصف تقريبا ، ولا بد من ان تكون الصور مشوهة فى هذه الحالة . اما الاشياء التى تسقط أشعتها على سطح الماء ، بزاوية قدرها ١٠° ، فانها تنضغط فى داخل الماء ، الى درجة كبيرة ، بحيث لا تستطيع العين تمييزها تقريبا .

ولكن الذى سيدهشنا اكثر من ذلك ، هو منظر سطح الماء بالذات ؛ لانه لا يبدو من تحت الماء مستويا ، بل على هيئة مخروط ! وسوف يتراءى لنا ، وكأننا



شكل ١١٩ : هكذا يبدو مقياس عمق الماء المغمور الى النصف فى داخل الماء ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء ، الذى تقع عينه فى النقطة أ . وفى حدود الزاوية ٢ يظهر جزء المقياس المغمور فى الماء ويكون مشوش الملامح . وفى حدود الزاوية ٣ يبدو انعكاس ذلك الجزء على سطح الماء الداخلى . والى الاعلى قليلا يبدو الجزء البارز للمقياس بشكل مقلص وقد انفصل عن الجزء الباقى بمسافة فاصلة . وفى حدود الزاوية ٤ ينعكس قاع النهر . وفى حدود الزاوية ٥ يبدو العالم الخارجى برمته على هيئة ماسورة مخروطية . وفى حدود الزاوية ٦ يبدو انعكاس قاع النهر على سطح الماء الداخلى . وفى حدود الزاوية ١ تظهر صورة غير واضحة لقاع النهر .

نقف على قعر مخروط كبير جدا ، تميل جوانبه على بعضها البعض ، بزاوية اكبر من الزاوية القائمة بقليل (٩٧ درجة) . ان الحافة العليا لهذا المخروط، تكون محاطة بحلقة ملونة بالوان قوس قزح : الاحمر والاصفر والاخضر والازرق والبنفسجى . ما هو سبب هذه الظاهرة ؟

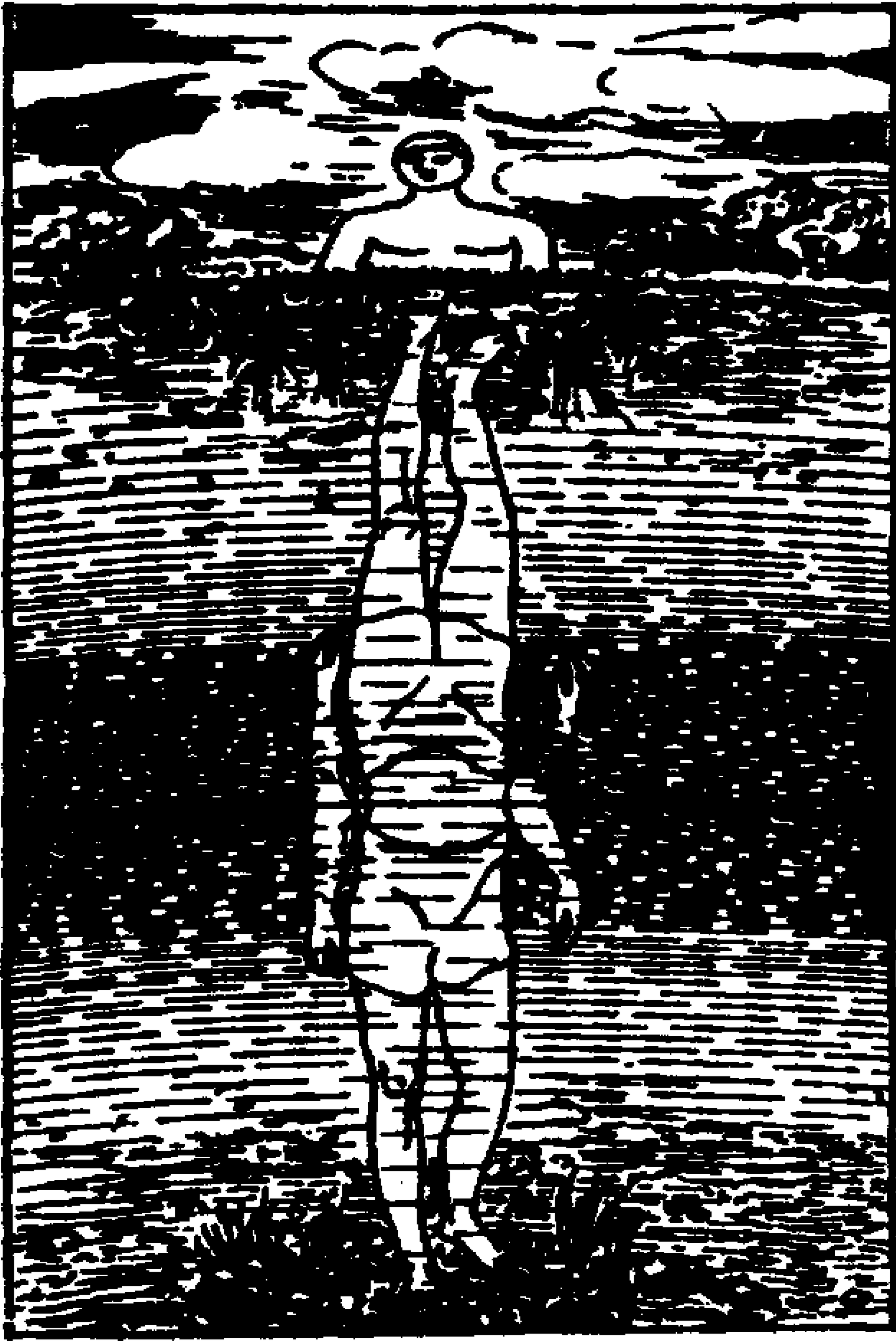
ان ضوء الشمس الابيض ، يتألف من عدة الوان مختلفة ، ولكل من هذه الالوان ، معامل انكسار خاص ، وبالتالى «زاوية حرجة» خاصة . ونتيجة لوجود هذه الظاهرة ، فاننا عندما ننظر الى شئ ما من تحت الماء ، نراه محاطا بهالة مرقشة بألوان قوس قزح .

والآن ، ما الذى يمكن رؤيته خارج حدود ذلك المخروط ، الذى يضم كل الاشياء الموجودة خارج الماء ؟ فى خارج حدود المخروط المذكور ، يمتد سطح الماء اللامع الذى تنعكس فيه صور الاشياء الموجودة تحت الماء ، كما تنعكس فى المرآة تماما . اما الاشياء التى يكون نصفها مغمورا فى الماء والنصف الآخر فى الهواء ، فسوف تظهر لعين الانسان الموجود تحت الماء ، بمظهر غريب جدا . لنفرض باننا غمرنا مقياس منسوب الماء فى النهر (شكل ١١٩) . ما الذى سيراه المراقب الموجود تحت سطح الماء ، فى النقطة أ ؟

نقسم المنطقة التى تقع تحت مراقبته — ٣٦٠ درجة — الى عدة أقسام ، وندرس كل قسم على حدة . فى حدود الزاوية ١ ، يرى المراقب قاع النهر — اذا كان بطبيعة الحال مضاء الى درجة كافية . وفى حدود الزاوية ٢ ، يرى جزء المقياس ، الموجود تحت سطح



شكل ١٢٠ : شجرة نصف مغمورة فى الماء كما يراها المراقب الموجود تحت سطح الماء (قارن هذا الشكل مع الشكل ١١٩) .



شكل ١٢١ : هكذا يبدو جسم الانسان المغمور الى صدره فى الماء ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت سطح الماء (قارن هذا الشكل مع الشكل ١١٩) .

الماء ، بدون تشويه . وفي حدود الزاوية ٣ تقريبا ، يرى انعكاس نفس الجزء المذكور من المقياس ، اى يرى الجزء المغمور من المقياس ، بشكل مقلوب (وهذا يعود الى الانعكاس الكلى) . وما فوق ذلك ، يرى المراقب الموجود تحت الماء ، جزء المقياس البارز فوق الماء — ولكنه لا يكون امتدادا للجزء الموجود تحت الماء ، بل يكون مزاحا الى الاعلى كثيرا ، وكأنه منفصل عن قاعدته تماما . ومن البديهى ، الا يفكر المراقب بان الجزء الموجود فى الهواء ، هو امتداد للجزء الاول المغمور فى الماء ! وبالاضافة الى ذلك ، فان المقياس سيبدو منضغطا جدا ، وخاصة فى الجزء السفلى — حيث تصبح الارقام فى هذا الجزء سميكة الى درجة واضحة . ان الشجرة الموجودة على الساحل ، والمغمورة الى النصف بمياه الفيضان ، يجب ان تبدو للناظر من تحت الماء ، كما هى عليه فى الشكل ١٢٠ .

واذا وقف انسان فى المكان الذى يوجد فيه مقياس منسوب الماء ، فانه سيبدو للناظر من تحت سطح الماء ، كما هو مبين فى الشكل ١٢١ . والاسماك يجب ان ترى الانسان المذكور ، بنفس المظهر المبين فى الشكل السابق ايضا ! وعندما يسير الانسان على قاع النهر الضحل ، يتحول بالنسبة للاسماك الى شخصين : شخص علوى ، بدون رجلين ، وشخص سفلى بدون رأس ، وله اربعة ارجل ! وعندما يبتعد الانسان عن المراقب الموجود تحت الماء ، ينضغط النصف العلوى من الجسم مع النصف السفلى اكثر فاكثر ؛ وعند الابتعاد الى مسافة معينة ، يختفى الجذع الموجود فوق سطح الماء تقريبا ، ويبقى الرأس وحده متدليا فى الهواء بحرية .

هل نستطيع بواسطة التجربة ، ان نتحقق مباشرة من صحة هذه الاستنتاجات الغريبة ؟ عندما نغطس فى الماء ، فاننا لا نرى الا بدرجة قليلة جدا من الوضوح ، حتى لو تعودنا على ابقاء عيوننا مفتوحة . وسبب ذلك يعود اولا ، الى ان سطح الماء ، لا يجد متسعا من الوقت ليصبح هادئا ، خلال تلك اللحظات المعدودة ، التى نستطيع ان نبقى فيها تحت الماء ، كما اننا نجد صعوبة كبيرة فى تمييز الاشياء ، من خلال سطح الماء المضطرب (المتموج) . وثانيا ، ان انكسارية الماء ، كما ذكرنا سابقا ،

لا تختلف الا قليلا عن انكسارية الاوساط الشفافة لعين الانسان ، ولذلك ، تكون الصورة المنعكسة على شبكية العين ، غير واضحة الى حد كبير ؛ وستبدو الاشياء المحيطة بنا ، مبهمة ومشوهة (راجع الصفحة ٢٥٢). وكذلك ، فان المراقبة من خلال غرفة الغطس او الخوذة او النافذة الزجاجية للغواصة ، لا يمكن ان تؤدى الى الغرض المطلوب . وفى هذه الحالات — كما شرحنا سابقا — على الرغم من وجود المراقب تحت الماء ، ولكن ليس فى ظروف «الابصار تحت الماء» ابدا ؛ فان شعاع الضوء المار من خلال الزجاج ، يمر ثانية خلال طبقة من الهواء قبل ان يصل الى عين المراقب . وبذلك يتعرض الشعاع الى الانكسار العكسى ، وعندئذ اما ان يعود الشعاع الى اتجاهه الاصلى ، او ان يأخذ اتجاها جديدا ، لا يمكن ان يكون نفس اتجاهه السابق فى الماء ، باى حال من الاحوال . وهذا هو السبب ، الذى يجعل المراقبة من خلال النوافذ الزجاجية للحجر الموجودة تحت الماء ، عاجزة عن اعطاء صورة حقيقية عن ظروف «الابصار تحت الماء» . ولكن ليست هناك ضرورة تستدعى وجودنا تحت الماء ، لغرض التعرف على كيفية ظهور العالم الخارجى بالنسبة لمن ينظر اليه من تحت الماء . ويمكن دراسة ظروف الابصار تحت الماء ، بمساعدة آلة تصوير خاصة ، مملوءة من الداخل بالماء . وفى هذه الحالة ، نستخدم بدلا من العدسة ، لوحا معدنيا يحتوى على ثقب صغير . ومن السهل ان نفهم بانه اذا كان كل الفراغ الموجود بين الثقب واللوح الحساس للضوء ، مملوءا بالماء ، فان العالم الخارجى يجب ان يظهر على اللوح الحساس ، بنفس المظهر الذى يبدو فيه لعينى المراقب الموجود تحت الماء . وبهذه الطريقة بالذات ، تمكن الفيزيائى الامريكى وود ، من الحصول على صور مدهشة للغاية ، قدمنا صورة واحدة منها فى الشكل ١١٤ . اما فيما يتعلق بسبب تشوه اشكال الاشياء الموجودة فوق الماء ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء (ان خطوط السكك الحديدية المستقيمة ، تبدو فى الصورة التى التقطها وود ، على هيئة أقواس) ، فقد اشرنا اليه عندما شرحنا سبب ظهور قاع البحيرة المستوى ، بمظهر مقعر (راجع الصفحة ٢٥٧).

وتوجد طريقة اخرى للتعرف المباشر على كيفية ظهور العالم الخارجي ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء ، وذلك بان نغمر مرآة فى ماء بحيرة ساكنة ، ونجعلها تميل بزاوية مناسبة ، ثم نلاحظ الاشياء الخارجية المنعكسة فيها .

ان نتائج هذه الملاحظات ، تؤكد لنا صحة جميع التصورات النظرية ، التى شرحناها اعلاه ، بكل تفاصيلها .

وهكذا نرى بان طبقة السائل الشفافة ، الموجودة بين العين والاشياء الواقعة خارج هذه الطبقة ، تشوه مظهر العالم الموجود خارج الماء ، وتضفى عليه سمات خيالية . ان اى مخلوق يعيش على اليابسة ، ويجد نفسه فجأة تحت سطح الماء ، سوف لن يستطيع التعرف على معالم الارض التى عاش عليها من قبل — لانها ستتغير جدا عند النظر اليها من اعماق الماء .

الالوان فى اعماق المياه

يصف العالم البيولوجي الامريكي بيب ، تغير ظلال الالوان تحت سطح الماء ، وصفا جميلا جدا ، حيث يقول :

« غطسنا فى الماء ونحن فى داخل كرة الاعماق ، وفوجئنا بتغير لون المحيط من اصفر ذهبى الى اخضر . وبعد ان زالت الرغوة والفقاقيع عن النوافذ ، غمرنا باللون الاخضر ، واصبحت وجوهنا والبالونات وحتى الجدران المسورة ، كلها خضراء اللون . بينما ظهر للواقفين على ظهر السفينة ، باننا قد غمرنا باللون اللازوردى الغامق .

ان الغطس الاول فى الماء ، يحرم العين من رؤية الاشعة الدافئة * للطيف الشمسي (اى الاشعة الحمراء والبرتقالية) . ولم يكن هناك اى وجود للونين الاحمر والبرتقالى ، وسرعان ما ابتلعت الظلال الصفراء من قبل الظلال الخضراء . ومع ان

---

* يقصد بكلمة « دافئة » هنا ، المعنى الذى يستخدمه الرسامون لوصف ظلال الالوان . انهم يطلقون صفة « دافئة » على الالوان الحمراء والبرتقالية ، وذلك لتمييزها عن الالوان « الباردة » وهى الزرقاء واللازوردية .

الاشعة الدافئة البهيجة ، لا تشكل الا جزءا قليلا من الطيف الواضح ، ولكنها عندما تختفي نهائيا ، حين يصل العمق الى ٣٠ م واكثر ، لا يبقى هناك سوى البرد والظلام والموت .

وكلما توغلنا الى عمق اكبر ، زالت الظلال الخضراء تدريجيا ؛ وعلى عمق ٦٠ م ، لم يستطع احد تحديد لون الماء بالضبط ، أهو أخضر على ازرق ام ازرق على اخضر !

وعلى عمق ١٨٠ م ، بدت كافة الاشياء وكأنها مصبوغة باللون الازرق الوضاء الكثيف ، الذى كان ضعيف الاضاءة الى درجة كبيرة ، بحيث اصبحت القراءة او الكتابة مستحيلة .

وعلى عمق ٣٠٠ م ، حاولت تحديد لون الماء ، فتهيأ لى بأنه اسود على ازرق ، أو اسود على رمادى على ازرق . ومن الغريب ، انه عندما يزول اللون الازرق ، لا يحل محله اللون البنفسجي — آخر الوان الطيف الواضح ، ويظهر انه قد تم امتصاصه تماما . وتتحول آخر ملامح اللون الازرق ، الى لون رمادى غير معين ، يتحول بدوره الى لون اسود . وابتداء من هذا المستوى ، يختفى ضوء الشمس نهائيا ، وتزول كافة الالوان الى الابد ، الى ان يتوغل الانسان الى هذه الاعماق ، حاملا معه جهازا لنشر الاشعة الكهربائية فى تلك الاعماق ، التى خيّم عليها الظلام الحالك منذ مليارات السنين » .

وفى مكان آخر ، يصف العالم الفيزيائى بيب ، الظلام الذى يخيم على اعماق كبيرة من سطح الماء ، كما يلى :

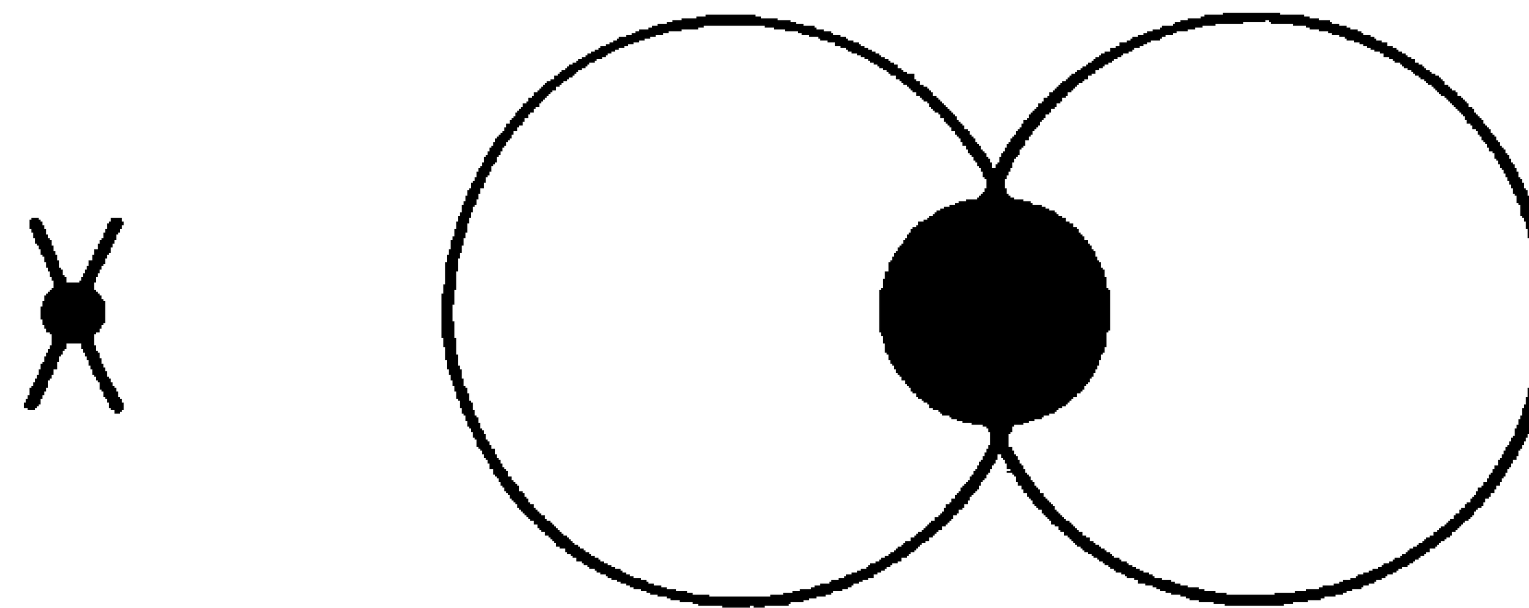
« ان الظلام الذى يخيم على عمق ٧٥٠ م ، حالك الى درجة لا توصف ، ومع ذلك ، فانه الآن — على عمق ١٠٠٠ م — يبدو اسود من السواد . ويبدو بان جميع الليالى المقبلة ، فى العالم الموجود فوق سطح الماء ، ستعتبر سوداء بدرجة نسبية فقط . وبعد ان شاهدت ذلك ، لم استطع ان اطلق اسم « اسود » على شئ ما ، بثقة تامة » .

البقعة العمياء فى عين الانسان

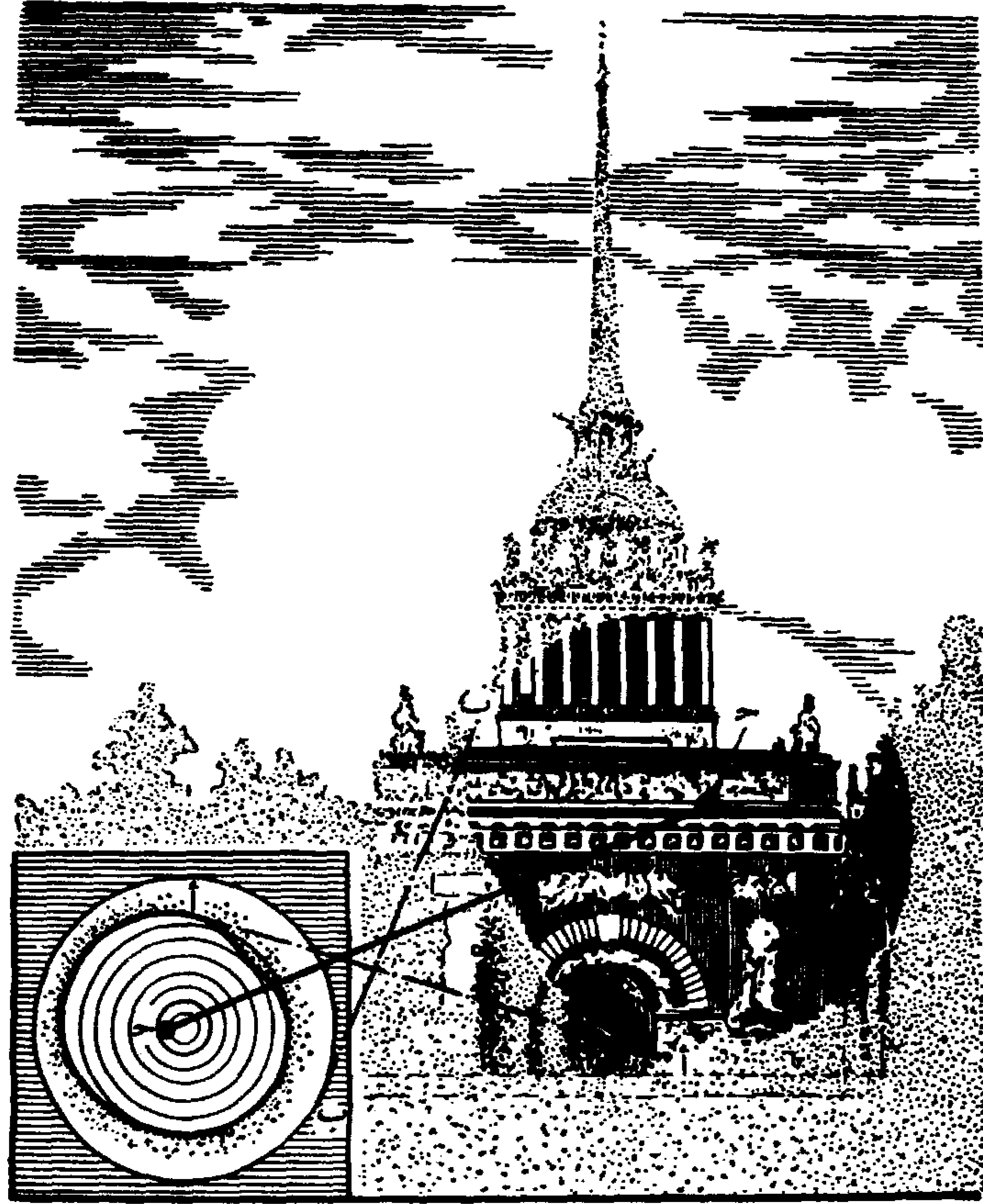
اذا قيل لشخص ما بان فى مجال ابصاره ، توجد بقعة لا يتمكن من رؤيتها بتاتا ، بالرغم من وقوعها امامه مباشرة ، لما صدق ذلك الشخص هذا القول بطبيعة الحال . اكان من الممكن يا ترى ، الا يهتدى الانسان خلال حياته كلها ، الى هذا العيب الكبير فى بصره ؟ ونقدم الى القارى هنا ، تجربة بسيطة ، تجعله يقتنع بصحة هذا الكلام .

ضع الشكل ١٢٢ امامك ، بحيث يبعد عن عينك اليمنى بمسافة ٢٠ سم (مع اغماض العين اليسرى) ، وانظر الى اشارة الضرب ، الموجودة الى يسار الشكل ، مع تقريب الشكل من عينك ببطء . واثناء قيامك بذلك ، لا بد وان تمر بلحظة ، تشعر فيها بان البقعة السوداء الكبيرة ، الموجودة عند تقاطع الدائرتين ، قد اختفت عن نظرك تماما ! انك لا تراها بالرغم من وقوعها باستمرار فى مجال ابصارك ، اما الدائرتان اليمنى واليسرى ، فتبدوان واضحتين تماما !

لقد اجريت هذه التجربة لاول مرة فى عام ١٦٦٨ (بشكل مختلف نوعا ما) ، من قبل العالم الفيزيائى الشهير ماريوت ، وادهشت حاشية الملك لويس الرابع عشر . وقد اجرى ماريوت هذه التجربة كما يلى : طلب الى اثنين من رجال الحاشية ان يجلسا قبالة بعضهما ، على مسافة مترين فقط ، وان ينظرا الى نقطة جانبية بعين واحدة ــ وعندئذ تراءى لكل منهما ، بان الشخص الذى يجلس امامه ، مقطوع الرأس .



شكل ١٢٢ : الرسم الذى يساعد على اكتشاف البقعة العمياء .



شكل ١٢٣ : عند النظر الى المبنى بعين واحدة ، فاننا لا نرى بتاتا ذلك الجزء الصغير (ح) من مجال الابصار ، المناظر للبقعة العمياء .

ومهما كان الامر غريبا ، الا ان الناس لم يعرفوا بوجود « بقعة عمياء » على شبكية عيونهم ، الا فى القرن السابع عشر . اما قبل ذلك ، فلم يفكر احد بهذه البقعة مطلقا . وهذه البقعة ، هى ذلك الموضع من شبكية العين ، الذى يدخل منه العصب البصرى الى مقلة العين ، قبل ان يتفرع الى اعصاب رفيعة ، مزودة بخلايا حساسة للضوء .

اما الانسان ، فلا يلاحظ هذه البقعة السوداء ، الواقعة فى مجال ابصاره ، وذلك نتيجة للعادة المستحكمة . ان خيال الانسان يعمل بصورة لاارادية ، على سد هذا النقص ، مستعينا بتفاصيل وملامح الخلفية المحيطة به . وهكذا ، فعندما لا نرى البقعة السوداء فى الشكل ١٢٣ ، فاننا نوصل امتدادات الدائرتين فى ذهننا — تخيليا — ونصبح على ثقة من اننا نرى نقطة تقاطع الدائرتين بوضوح .

واذا كان القارئ يستخدم نظارة ، يمكنه عندئذ القيام بالتجربة التالية ، بلصق قطعة ورق صغيرة على زجاج النظارة (لا فى الوسط تماما ، بل على الجوانب) . وفى الايام الاولى ، ستعرقل قطعة الورق ، الرؤية ، ولكن بعد مرور أسبوع فآخر ، يتعود القارئ على قطعة الورق الى درجة كبيرة ، حتى انه لن يلاحظها بعد ذلك . ويعرف ذلك جيدا ، كل من وضع على عينيه فى وقت ما ، نظارة فى زجاجها ثلمة او كسر ، حيث تكون الثلمة واضحة للعين فى الايام الاولى فقط . وهذا ما ينطبق علينا بالذات ، حيث اننا بحكم العادة المستأصلة فينا ، لا نلاحظ البقعة العمياء ، الموجودة فى عيننا . وبالاضافة الى ذلك ، فان كلتا البقعتين السوداوين ، تناظران مكانين مختلفين من مجال الابصار ، بحيث لا يظهر هناك اى نقص فى مجال الرؤية العام ، عند الابصار بكلتا العينين معا .

ولا يظن القارئ بان البقعة العمياء ، تشغل حيزا صغيرا فى مجال الابصار ؛ فعندما ننظر (بعين واحدة) الى احد الدور من مسافة ١٠ م ، فاننا بسبب البقعة العمياء ، نعجز عن رؤية مسافة لا بأس بها من واجهة الدار ، يزيد عرضها على متر واحد ؛ وهى تتسع لنافذة بأكملها . اما عندما ننظر الى السماء ، فتختفى عن انظارنا نتيجة لذلك ، مساحة تساوى مساحة ١٢٠ قمرا كاملا .

باى حجم يبدو القمر امامنا ؟

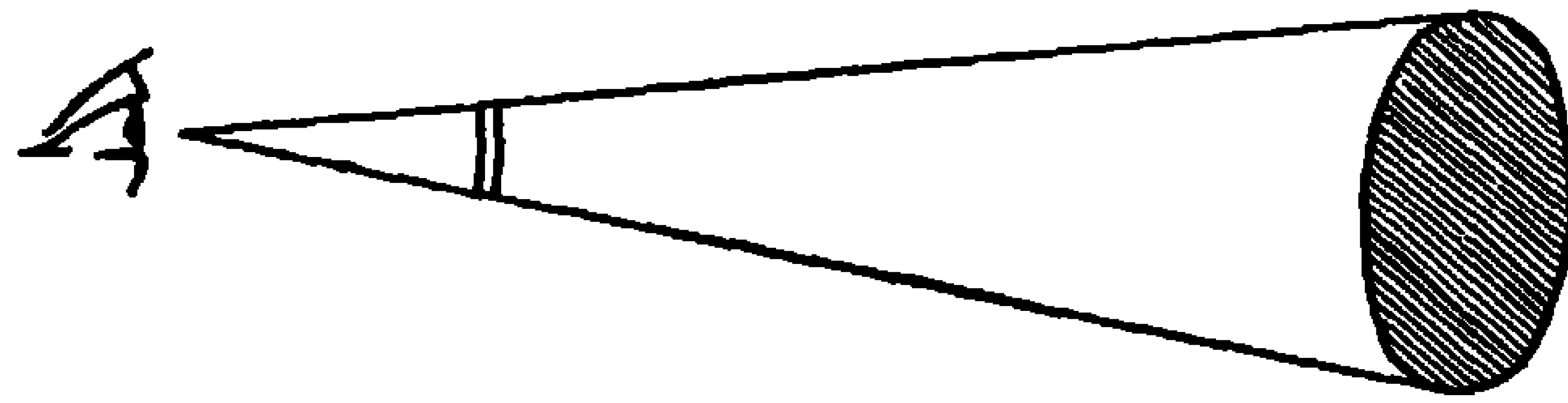
ونقدم بهذه المناسبة ، بعض المعلومات عن حجوم القمر المختلفة كما نراها من الارض . اذا سألنا بعض الاصدقاء ، عن حجم القمر الذى يبدو امامهم ، لحصلنا

على اجابات مختلفة جدا . وسيجيب اكثرهم على سؤالنا ، بان حجم القمر يساوى حجم الطبق ، وسنجد بعض الاجابات ، التى تؤكد بان حجمه يساوى حجم طبق فنجان القهوة ، او حجم الكرزة او التفاحة . وقد تراءى القمر دائما لاحد تلاميذ المدارس ، وكأنه « بحجم مائدة الطعام المستديرة ، المعدة لجلوس ١٢ شخصا » . ويؤكد احد المؤلفين الروائيين ، بان « قطر القمر يبلغ ياردة واحدة » .

ما هو سبب الاختلاف الشديد فى تقدير حجم نفس القمر الواحد بالذات ؟

ان سبب ذلك يعود الى الاختلاف فى تقدير المسافات ، وهو التقدير الذى يتم دائما بدون وعى . ان الشخص الذى يرى القمر بحجم التفاحة ، يتصوره واقعا على مسافة اقرب بكثير ، مما يتصوره اولئك الناس ، الذين يرون القمر بحجم الطبق ، او بحجم المائدة المستديرة .

ان اكثرية الناس تتصور القمر بحجم الطبق . وهذا ما يجعلنا نتوصل الى النتيجة الطريفة التالية : اذا حسبنا (بالطريقة التى سنتطرق اليها فيما بعد) على اية مسافة سيضع كل منا القمر ، ذا الحجم المذكور ، لرأينا بانها لا تزيد على ٣٠ م . وهكذا نرى الى اية مسافة متواضعة ، ازحنا النجم الليلى ! وهناك كثير من الخدع البصرية ، المبنية على اساس عدم صحة تقدير المسافة . واتذكر جيدا احدى هذه الخدع البصرية ، التى تعرضت لها فى طفولتى « عندما كانت كافة انطباعات الحياة ، جديدة علىّ » . وفى صباح يوم ربيعى ، ذهبت للنزهة فى ضواحى المدينة ، ولاول مرة فى حياتى ، رأيت قطيعا من البقر يرعى فى المرج . وقد كان تقديرى للمسافة التى تفصلنى عن القطيع ، خاطئا الى درجة كبيرة ، بحيث تهيأ لى بان قطيع البقر ،



شكل ١٢٤ : زاوية الابصار .

ما هو الا مجموعة من الاقزام ! ولم أكن قبل ذلك قد رأيت مثل هذه الابقار الصغيرة جدا ، وسوف لن ارى * ابدا ، بطبيعة الحال . والفلكيون يقدرون الحجم الظاهر لكوكب ما ، بقيمة الزاوية ، التى ننظر منها الى ذلك الكوكب . والزاوية المحصورة بين المستقيمين الواصلين بين العين واقصى طرفى الجسم المنظور ، تسمى بـ « زاوية الابصار » وهى مبينة فى الشكل ١٢٤ . ان الزوايا كما هو معروف ، تقاس بالدرجات والدقائق والثوانى . وعندما نسأل العالم الفلكى عن الحجم الظاهر للقمر ، فانه لن يجيب على سؤالنا بان ذلك الحجم يساوى حجم التفاحة او الطبق ؛ بل سيجيب بقوله ان الحجم الظاهر للقمر ، يساوى نصف درجة ، وهذا يعنى ان الزاوية المحصورة بين المستقيمين الواصلين بين العين واقصى طرفى قرص القمر ، تساوى نصف درجة . وهذا هو التقدير الصحيح الوحيد ، للحجوم الظاهرية للاجسام ، اذ لا ينتج عنه اى سوء فهم .

وتنص القوانين الهندسية ، على ان الجسم الذى يبعد عن العين مسافة تزيد على قطره بمقدار ٥٧ مرة ، يجب ان يظهر لعين المراقب بزاوية ابصار تساوى درجة واحدة . مثلا ، التفاحة التى يبلغ قطرها ٥ سم ، تكون لها زاوية ابصار قدرها درجة واحدة ، اذا كانت تبعد عن عين المراقب مسافة تساوى ٥×٥٧ سم . وعند ضعف هذه المسافة ، تصبح زاوية ابصارها مساوية لنصف درجة ، اى بنفس الحجم الذى نرى فيه القمر . ويستطيع القارئ القول بان حجم القمر الظاهرى يساوى حجم التفاحة ، على ان تكون هذه التفاحة واقعة على بعد ٥٧٠ سم عن عين المراقب . وعندما نرغب فى مقارنة حجم القمر الظاهرى ، مع حجم الطبق ، يجب ان نبعد الطبق الى مسافة

---

* ومع ذلك فان الناس البالغين ، ينساقون احيانا وراء مثل هذه الخدع البصرية . وكدليل على ذلك نقدم للقارئ هنا ، مقتطفا من رواية جريجوروفيتش « الفلاح » :

« وبدت ضاحية المدينة وكأنها موضوعة على راحة اليد ، وظهرت الاشجار كما لو انها قد نبتت بجوار الجسر بالذات ، اما البيت والتل وغابة البتولا الصغيرة ، فقد بدت كلها وكأنها ملتصقة بالقرية . وكل هذه الاشياء – البيت والحديقة والقرية – بدت الآن بمظهر الألاعيب ، حيث يمكن اعتبار العيدان بمثابة الاشجار ، وشظايا المرآة بمثابة النهر » .

٣٠ م عن العين . واكثرية الناس لا تريد ان تصدق ، بان القمر يبدو صغيرا الى هذا الحد . ولكن ، لنحاول ان نضع قطعة نقود صغيرة الحجم ، على مثل هذه المسافة من العين ، وهى المسافة التى تزيد على قطر قطعة النقود بمقدار ١١٤ مرة ، وسنرى عندئذ ، بان هذه القطعة ستحجب عنا رؤية القمر تماما ، مع انها لا تبعد عن العين اكثر من مترين .

واذا طلب منك ان ترسم على الورقة ، دائرة تمثل قرص القمر ، كما تراه بالعين المجردة ، لظهر لك بان هذا الطلب غير متكامل الشروط . ذلك لان الدائرة قد تكون كبيرة او صغيرة ، تبعا لبعدها عن العين . ولكن الشروط ستصبح متكاملة ، اذا حددنا بعدها عن العين ، بالمسافة التى نبعد بها الكتاب او الرسم وغير ذلك ، عن العين عادة ، اى بالمسافة التى تؤمن لنا رؤية جيدة جدا . وتبلغ هذه المسافة بالنسبة للعين السليمة ٢٥ سم .

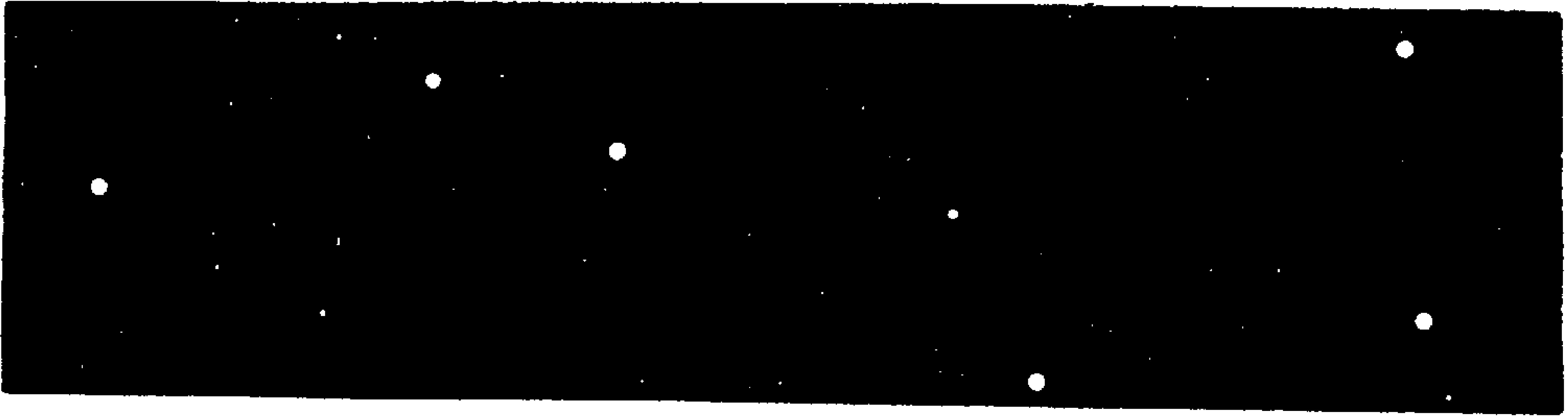
والآن ، لنحسب الحجم الذى يجب ان تكون عليه الدائرة ، ولو على صفحة هذا الكتاب ، لكى يصبح حجمها الظاهرى ، مساويا لحجم قرص القمر . ان الحساب بسيط ، ويتلخص فى قسمة المسافة ٢٥ سم (اى ٢٥٠ مم) ، على العدد ١١٤ . ونحصل بذلك على مقدار صغير جدا – يزيد قليلا على ٢ مم ! ولا يمكن للانسان ان يصدق بان حجم القمر الظاهرى وحجم الشمس الظاهرى الذى يساويه ، يبدوان امام عينيه بزاوية ابصار صغيرة كهذه !

وربما يكون القارئ قد لاحظ بانه بعد النظر الى قرص الشمس ، تلوح فى مجال الابصار لفترة طويلة ، اقراص صغيرة ملونة ، تتلألأ بتقطع . ولهذه الاقراص المسماة بـ « آثار الابصار » ، زاوية ابصار مساوية تماما لزاوية ابصار الشمس . ولكن حجومها الظاهرية تتغير . فعندما ننظر الى السماء ، يكون حجم كل منها بحجم قرص الشمس ؛ اما عندما نلقى نظرة على الكتاب الموضوع امامنا ، فان « اثر » الشمس يشغل من صفحة الكتاب ، حجم قرص صغير جدا ، يبلغ قطره حوالى ٢ مم ، الامر الذى يؤكد بوضوح صحة الحساب الذى اجريناه .

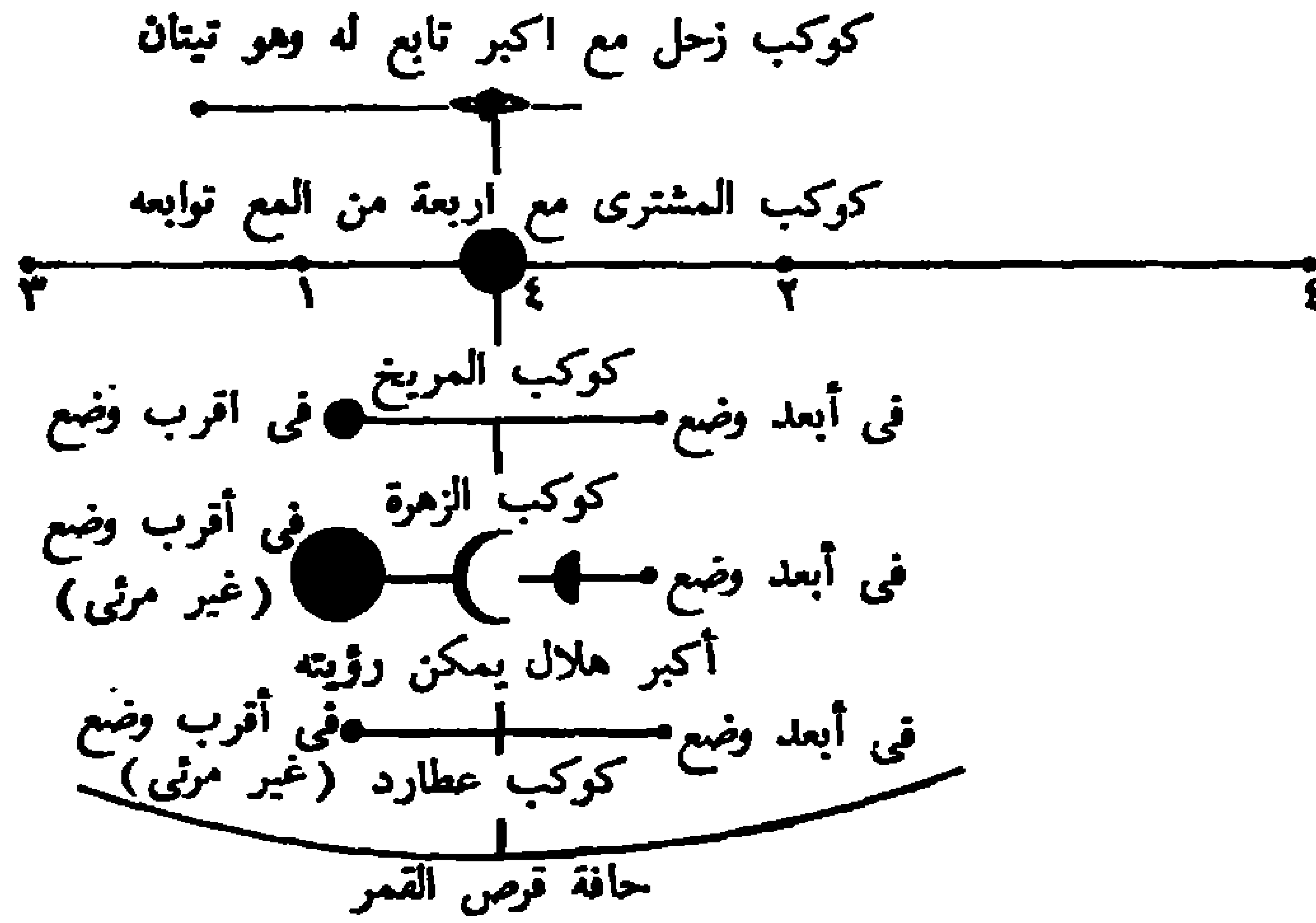
الحجوم الظاهرية للكواكب

اذا أردنا ان نرسم على الورق – مع الحفاظ على الابعاد الزاوّية – برج (مجموعة نجوم) الدب الاكبر ، فسوف نحصل على الرسم المبين فى الشكل ١٢٥ . وعندما ننظر الى هذا الشكل من مسافة ٢٥ سم ، نرى برج الدب الاكبر ، بنفس الشكل الذى يظهر فيه امام اعيننا فى السماء . وهذه الصورة تمثل خريطة مجموعة الدب الاكبر ، مع الحفاظ على الابعاد الزاوية . واذا كان الانطباع الابصارى الناتج عن برج الدب الاكبر – لا الشكل فحسب ، بل الانطباع الابصارى المباشر بالذات – محفوظا فى ذاكرتك جيدا ، فانه سيعود الى الظهور امام ناظريك ، بمجرد ان تنظر الى الشكل السابق . وبمعرفة الابعاد الزاوية بين النجوم الرئيسية لكافة المجموعات – الابراج – (وهى مدرجة فى التقاويم الفلكية والمطبوعات الدورية المفصلة) ، يمكننا رسم اطلس فلكى كامل ، بالحجم الطبيعى .. وللقيام بذلك ، نستخدم ورقة مربعات ملمترية ، ونعتبر بان كل ٤,٥ مم ، تساوى درجة واحدة (يجب رسم مساحات الاقراص التى تمثل النجوم ، بحيث تتناسب مع لمعانها) .

والآن ، لنعد الى الكواكب السيارة . ان حجومها الظاهرية – كما هى الحالة فى النجوم – صغيرة جدا ، بحيث تبدو للعين المجردة وكأنها نقط مشعة . وهذا امر مفهوم ، ذلك لعدم وجود اى كوكب سيار (ما عدا كوكب الزهرة ، فى فترة لمعانه



شكل ١٢٥ : صورة تمثل برج الدب الاكبر مع الحفاظ على الابعاد الزاوية . يجب وضع الصورة على بعد ٢٥ سم عن العين .



شكل ١٢٦ : اذا وضعنا هذا الشكل على بعد ٢٥ سم عن العين ، فاننا سنرى اقراص الكواكب المبينة فيه بحجوم مساوية تماما للحجوم التى نراها عندما ننظر الى تلك الكواكب من خلال تلسكوب تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة .

الاقصى) ، يمكن ان يبدو للعين المجردة بزاوية ابصار تزيد على دقيقة واحدة ، وهى الزاوية الحرجة ، التى يمكننا عندها بصورة عامة ، تمييز الشئ كجسم له ابعاد معينة (اما عند زاوية ابصار اقل من الزاوية الحرجة ، فان جميع الاشياء تبدو للعين المجردة بمثابة نقطة فقط) .

وندرج فيما يلى ابعاد (حجوم) مختلف الكواكب السيارة ، مقاسة بالثوانى الزاوية ، وسيجد القارئ مقابل كل كوكب رقمين ، يدل اولهما على اصغر مسافة بين ذلك الكوكب والارض ، ويدل الثانى على اكبر مسافة بينهما :

اسم الكوكب	عدد الثوانى
عطارد	١٣ — ٥
الزهرة	٦٤ — ١٠
المريخ	٢٥ — ٣,٥

المشترى . . . . ٥٠ — ٣٠,٥

زحل . . . . ٢٠,٥—١٥

الحلقات التابعة لزحل . . . . ٤٨ — ٣٥

ولا توجد امكانية لرسم هذه الابعاد « بشكلها الطبيعي » على الورق ، لانه حتى الدقيقة الزاوية الواحدة ، اى ما يعادل ٦٠ ثانية ، تطابق بالنسبة لأقوى بصر ، مسافة قدرها ٠,٠٤ مم على الورق . وهذه المسافة قليلة جدا ، بحيث لا يمكن للعين المجردة ان تميزها . ولذلك ، سنتصور اقراص الكواكب ، كما نراها بواسطة التلسكوب ، الذى تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة .

ويبين الشكل ١٢٦ ، الابعاد (الحجوم) الظاهرية لتلك الكواكب السيارة ، كما يبينها التلسكوب المذكور . ان القوس السفلى الظاهر فى الشكل ، يمثل حافة قرص القمر (او الشمس) كما تظهر فى التلسكوب ، الذى تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة . ويظهر فوق القوس ، الكوكب عطارد فى اقرب مسافة له من الارض . وفوق عطارد يظهر كوكب الزهرة ، فى أطواره المختلفة . وعندما يقع كوكب الزهرة على اقرب مسافة من الارض ، لا يمكن رؤيته فى هذه الحالة مطلقا ، وذلك لان نصفه المعتم يقابل الارض * . ثم نرى بعد ذلك هلال الزهرة الرفيع ، الذى يعتبر من اكبر أهلّة الكواكب الاخرى على الاطلاق . وفى الاطوار التالية ، يقل حجم الزهرة اكثر فاكثر ، الى ان يصل قطر القرص التام ، الى $\frac{1}{6}$ قطر الهلال الرفيع الاول . وفوق كوكب الزهرة ، يظهر فى الرسم كوكب المريخ . ويصبح على اقرب مسافة من الارض ، عندما يكون فى الوضع المبين الى اليسار ، كما يظهر فى التلسكوب ، الذى تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة . ما الذى يمكن تمييزه على هذا القرص الصغير ؟ لنتصور بان هذا القرص الصغير قد كبر ١٠ مرات ؛ وستتكون لدينا عندئذ فكرة عن الاشياء التى يراها العالم الفلكى ،

---

* يمكن رؤية كوكب الزهرة فى هذا الطور ، فقط فى تلك اللحظات النادرة جدا ، التى يبدو فيها مسقط الكوكب على الشمس ، بشكل قرص اسود صغير ، يسمى بـ « ممر الزهرة » .

الذى يراقب المريخ من خلال تلسكوب ضخم ، تبلغ قوة تكبيره ١٠٠٠ مرة . هل يمكنه ان يلاحظ على هذه المساحة الضيقة جدا ، بعض التفاصيل الدقيقة ، التى لا يشك فيها ، مثل القنوات الموهومة ، او التغير الخفيف فى الالوان ، الذى يعتقد البعض بانه يعود الى وجود النباتات على سطح هذا الكوكب ؟ ولا عجب اذا علمنا بان آراء علماء الفلك حول هذه المواضيع ، تختلف اختلافا جوهريا عن بعضها البعض . فان ما يعتبره بعض العلماء شيئا واضحا ومميزا * ، يعتبره البعض الاخر خداعا بصريا .

ان كوكب المشترى الجبار ، يشغل مع توابعه حيزا بارزا فى الشكل السابق ، وقرصه اكبر بكثير من اقراص بقية الكواكب (ما عدا هلال كوكب الزهرة) . اما توابعه الرئيسية الاربعة ، فتمتد على خط واحد ، يساوى نصف قرص القمر تقريبا . ويظهر المشترى فى الشكل المذكور ، فى اقرب وضعية له بالنسبة الى الارض . واخيرا ، فان الكوكب زحل ، الظاهر فى اعلى الشكل ، مع حلقاته واكبر تابع من توابعه (تيتان) ، يعتبر كذلك كوكبا واضحا جدا ، عندما يكون فى اقرب وضعية له بالنسبة الى الارض .

وبعد هذا البحث ، يتضح للقارئ بان كل جسم مرئى ، يبدو امامنا بحجم اصغر ، كلما تصورناه اكثر قربا منا . وعلى العكس من ذلك ، اذا تصورنا – لسبب ما – بان الجسم بعيد عنا ، فان ذلك الجسم بالذات ، يبدو امامنا طبقا لذلك ، اكبر حجما .

وسنقدم فيما يلى قصة توضيحية من تأليف « ادجار بو » ، تصف لنا احدى حالات خداع البصر ، التى تشبه الحالة السابقة تماما . ومع ان هذه الحالة تبدو غير واقعية ظاهريا ، الا انها ليست خيالية مطلقا . وقد كنت شخصيا فى يوم من الايام ، ضحية لخدعة مماثلة تقريبا . وربما يتذكر الكثير من القراء ، بعض الحوادث المماثلة ، التى تعرضوا لها فى حياتهم الخاصة .

---

* ان الحصول على المعلومات الحديثة عن كوكب المريخ ، لا ينحصر فى النتائج التى تستخلص من عمليات المراقبة البصرية فقط . ان القياسات التى تقوم بها الاجهزة الحساسة ، تساعد العلماء على استخلاص معلومات معينة وموثوقة تماما ، عن الظروف الفيزيائية المحيطة بالكواكب وتوابعها .

«ابو الهول»

قصة من تأليف ادجار بو

« عندما كان مرض الكوليرا الفتاك ، متفشيا فى مدينة نيويورك ، تلقيت دعوة من احد اقاربى لقضاء اسبوعين من الراحة فى منزله الريفى المنعزل . وقد كان باستطاعتنا قضاء الوقت بصورة ممتعة ، لولا الانباء الرهيبة ، التى كنا نتلقاها يوميا من المدينة . ولم يمر يوم واحد ، دون ان نسمع بوفاة احد معارفنا . وكنا ننتظر الجرائد وفرائصنا ترتعد من الخوف . حتى ان الرياح القادمة من الجنوب ، كانت تبدو وكأنها مشبعة بالكوليرا . وقد سيطرت هذه الفكرة المخيفة ، سيطرة تامة على عقلى وروحى . وكان صاحب المنزل هادئ الطبع اكثر منى ، وحاول ان يرفع من معنوياتى .

وفى احد الايام الحارة ، عندما كانت الشمس تشرف على المغيب ، تناولت كتابا وجلست لاقرأ بقرب احدى النوافذ المفتوحة ، التى كانت تطل على رابية بعيدة وراء النهر . ولكن افكارى كانت شاردة عن الكتاب تماما ، ومتعلقة باذيال الانقباض والقنوط ، المسيطرين على المدينة المجاورة . وعندما رفعت عينى عن الكتاب ، وقع نظرى صدفة على منحدر الرابية الجرداء ، ورأيت منظرا غريبا : احد الوحوش القبيحة ، وهو ينحدر من قمة الرابية بسرعة ، ثم يختفى فى الغابة الواقعة عند السفح . وفى أول دقيقة رأيت فيها هذا الوحش ، خامرنى الشك فى سلامة عقلى او على الاقل فى سلامة نظرى . ولم اتأكد من نفسى الا بعد مرور عدة دقائق . ولكننى اذا قمت بوصف هذا الوحش (الذى رأيته بوضوح تام ، وراقبته طوال الوقت ، الذى كان يهبط فيه من الرابية) ، فمن المحتمل ألا يصدقنى القراء بسهولة .

وعند تقدير حجم هذا المخلوق ، بالمقارنة مع قطر الاشجار الضخمة ، اقتنعت بان حجمه اكبر بكثير من اضخم سفينة موجودة الان . واقول سفينة بالذات ، لان شكل الوحش المذكور يشبه السفينة ؛ ويمكن تشبيه ملامحه جيدا ، ببدن سفينة حربية ذات ٧٤ مدفعا . وكان فم هذا الوحش ، يقع فى نهاية خرطوم طوله ٦٠ او



شكل ١٢٧ : « .... وهبط الوحش من قمة الرابية » .

٧٠ قدما ، وسمكه مثل سمك جسم الفيل تقريبا . وعند قاعدة الخرطوم نمت كتلة كثيفة من الشعر الاشعث ، وبرز من هذا الشعر ، نابان لامعان ، منحنيان الى الاسفل والى الجانب ، يشبهان انياب الخنازير البرية ، ولكن بحجم كبير جدا . وكان يقع على جانبى الخرطوم ، قرنان مستقيمان هائلان ، طول كل منهما ٣٠ او ٤٠ قدما ، اوحى مظهرهما بانهما بلوريان ، حيث كان بريقهما تحت الشمس ، يعمى الابصار . وكان جسم هذا الوحش ، يشبه الاسفين ، المتجه الرأس نحو الارض . وكان الجسم المذكور مزودا بزوجين من الاجنحة ، احدهما فوق الاخر ، وطول كل منهما حوالى ٣٠٠ قدم . وكانت الاجنحة تحتوى على طبقة كثيفة من الصفائح المعدنية ، التى بلغ قطر كل منها ١٠ — ١٢ قدما . ولكن الميزة الرئيسية لهذا المخلوق الرهيب ، تمثلت فى ذلك الرأس الشبيه بالميت ، الذى كان يشغل كل سطح الصدر تقريبا . وقد تميز الرأس جيدا ، عن الجسم الداكن ، بزهرته البيضاء المتألقة ، التى بدت وكأنها قد رسمت بيد فنان ماهر . وفى الوقت الذى كنت فيه اتابع النظر الى هذا الوحش الرهيب ، والرعب مسيطر على مشاعرى ، خاصة وانا انظر الى جسمه المشؤوم والى صدره ، فغر فمه فجأة ، واطلق فى الجو انة مدوية . ولم تتحمل اعصابى كل

ذلك ، وعندما اختفى الوحش فى الغابة الواقعة عند سفح الرابية ، سقطت على ارض الغرفة ، فاقد الشعور . . .

وعندما عدت الى الوعى ، كانت اولى رغباتى هى ان احدث صديقى بما رأيت . وبعد ان سمع حديثى الى نهايته ، ضحك فى بداية الامر ، ثم بدت عليه علائم الجد ، وكأنه لم يشك مطلقا فى اختلال عقلى .

وفى هذه الدقيقة بالذات ، رأيت الوحش مرة ثانية ، وصرخت منبها صديقى وانا اشير اليه بيدى . ونظر صديقى ، ثم اكد لى بانه لم ير شيئا ، بالرغم من اننى وصفت له عملية هبوط الوحش من قمة الرابية بالتفصيل .

وغطيت وجهى بيدى ، وعندما رفعتهما عنه ، كان الوحش قد اختفى تماما .

وأخذ صاحب المنزل يسألنى عن المظهر الخارجى لذلك الوحش . وعندما حدثته عن ذلك بالتفصيل ، تنفس الصعداء وكأنه قد ازال عن كاهله عبئا ثقيلا ، ثم اتجه نحو خزانة الكتب ، وتناول منها كتابا مدرسيا يبحث فى علم التاريخ الطبيعى . وبعد ذلك عرض على ان اعطيه مكانى ، وذلك لان احرف الكتاب الناعمة تصبح اكثر وضوحا لعينيه عند جلوسه بقرب النافذة . وجلس على المقعد ، ثم فتح الكتاب واستمر فى حديثه قائلا :

— لو لم تصف لى ذلك الوحش بمثل هذا الوصف الدقيق ، لما كان باستطاعتى بتاتا ، ان اكشف لك سر ذلك الوحش . وقبل كل شئ ارجو ان تسمح لى بان اقرأ لك فى هذا الكتاب ، وصفا لفراشة ابى الهول ، من فصيلة الحشرات الناشطة فى الغسق ، ومن رتبة الحشرات القشرية الاجنحة . واليك ما جاء فى الكتاب حول هذا الموضوع :

« زوجان من الاجنحة الغشائية ، مغطيان بحراشف دقيقة ملونة ، ذات بريق معدنى . واعضاء الفم مكونة من الفكوك السفلى المستطيلة ، وتوجد على جوانب الفكوك منابت المجسات المنفوشة . والاجنحة السفلى متصلة بالاجنحة العليا ، بشعيرات متينة . اما الشوارب فتكون على هيئة عساليج اولية ، والبطن مسننة . والرأس الشبيه

بالميت لحشرة ابى الهول ، يثير احيانا الرعب الخرافى بين عامة الشعب ، وذلك نظرا للانين المحزن الصادر عنه ، ولهيئة الجمجمة الملتصقة بالصدر * .

وهنا اطبق الكتاب وانحنى نحو النافذة ، متخذا نفس الوضع الذى كنت عليه ، عندما رأيت « الوحش » . وهتف قائلا :

– أجل ، ها هو ذا ! انه يصعد منحدر الرابية ، واعترف لك بانه يبدو عجيبا جدا . ولكنه مع ذلك ليس كبيرا جدا وليس بعيدا جدا ، كما تصورته انت ، ذلك لانه يتسلق خيطا من خيوط العنكبوت ، الملتصقة بنافذتنا ! »

ما الذى يجعل الميكروسكوب يكبر الاشياء ؟

ان الاجابة التى غالبا ما نسمعها عندما نطرح مثل هذا السؤال هى كالاتى : « ان الميكروسكوب يكبر الاشياء ، لانه يغير اتجاه الاشعة ، بطريقة معينة ، مشروحة فى كتب الفيزياء المدرسية » . ولكن هذه الاجابة ، تشير الى احد الاسباب الثانوية فقط ، ولا تتطرق الى السبب الرئيسى . ما هو اذن السبب الرئيسى ، الذى يجعل الميكروسكوب والتلسكوب ، يكبران الاشياء ؟ لقد عرفت السبب الرئيسى لذلك ، ليس من مطالعة الكتب المدرسية ، ولكن بادراكه صدفة . عندما كنت تلميذا لاحظت ذات مرة ، ظاهرة غريبة حيرتنى الى درجة كبيرة . كنت جالسا بقرب نافذة مقفلة ، انظر الى جدار من الطوب ، لاحد المنازل ، الواقعة عبر الزقاق الضيق ، المقابل لتلك النافذة . وفجأة ، ارتعدت فرائصى ، وانا ارى عينا بشرية عملاقة – رأيت ذلك بوضوح تام – يبلغ قطرها عدة امتار ، تنظر الى من ذلك الجدار المقابل للنافذة . . .

---

* لقد صنف العلماء هذه الفراشة الآن ، واعتبروها من نوع (اخيرونتيا) . وهى احدى الفراشات القلائل ، التى لها القابلية لاحداث الاصوات – نوع من الصفير يشبه صرير الفأر – ، والفراشة الوحيدة التى تحدث الاصوات بواسطة اعضاء الفم . ان صوتها يعتبر عاليا لدرجة كافية ، حيث يمكن سماعه على بعد امتار عديدة . وفى هذه الحالة بالذات ، كان من الممكن ان يظهر هذا الصوت بشكل عال جدا بالنسبة للمراقب ، وذلك لانه تصور بان مصدر الصوت ، يقع على مسافة بعيدة منه (ارجع الكتاب الاول من الفيزياء المسلية ، الفصل العاشر – عجائب السمع) .

ولم اكن فى ذلك الوقت ، قد قرأت قصة « ادجار بو » ، ولذلك لم ادرك فى الحال ، بان تلك العين العملاقة ، كانت انعكاسا لعينى بالذات ، وهو الانعكاس الذى اسقطته على ذلك الجدار البعيد عنى ، وبدت العين لهذا السبب ، مكبرة طبقا لذلك .

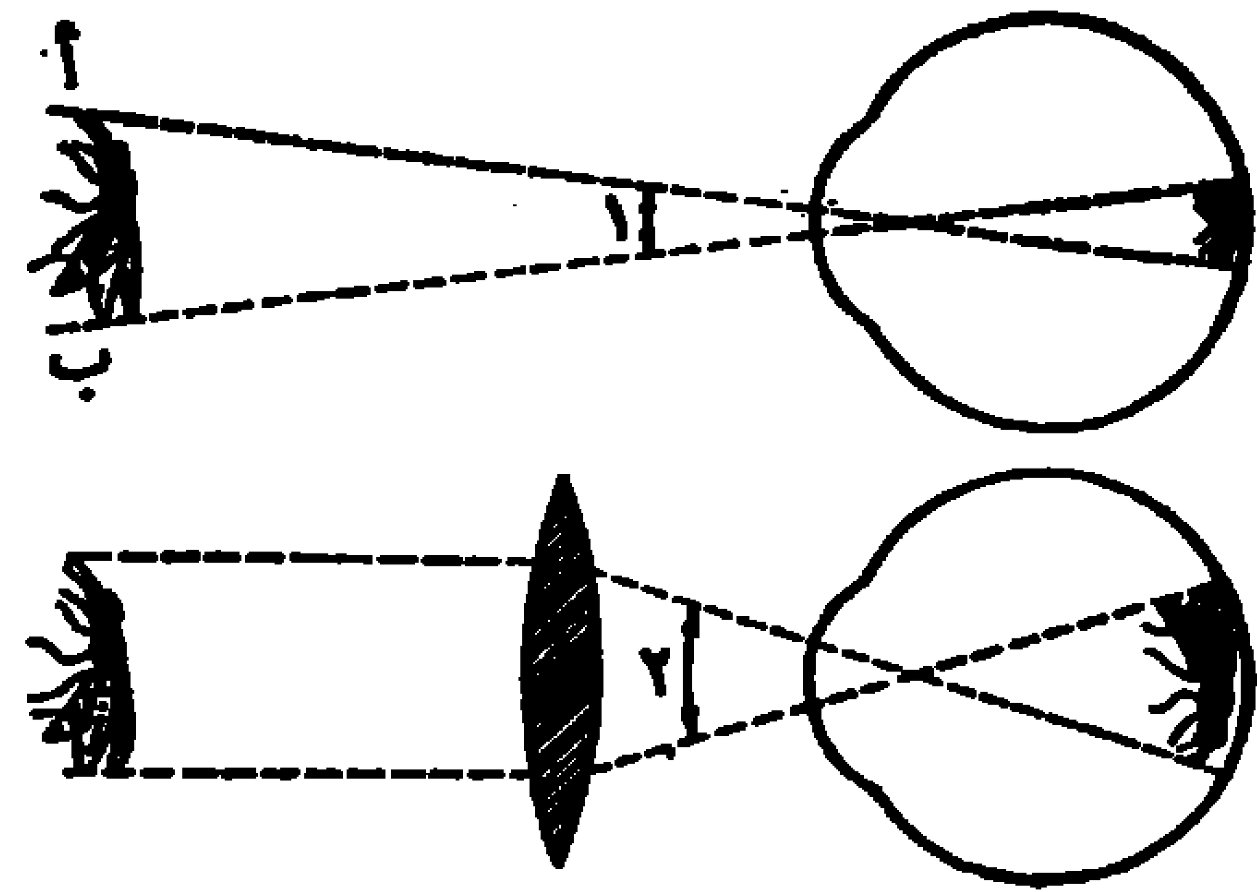
وبعد ان عرفت سبب تلك الظاهرة ، اخذت افكر فى امكانية صنع ميكروسكوب ، على اساس هذه الخدعة البصرية . وعندما لم يحالفنى الحظ فى التوصل الى ذلك ، اتضح لى عندئذ ، السبب الرئيسى الذى يجعل الميكروسكوب يكبر الاشياء . ولا يتلخص هذا السبب فى ظهور الجسم المنظور بابعاد اكبر (بحجم اكبر) ، ولكنه يتلخص فى اننا ننظر اليه بزاوية ابصار اكبر — وهذا اهم شىء — وبذلك نرى بان صورته تشغل حيزا اكبر ، عند سقوطها على شبكية العين .

ولكى نفهم سبب الاهمية الجوهرية لزاوية الابصار فى هذه الحالة ، يجب ان نتنبه الى احدى الخواص المهمة لعين الانسان ، وتتلخص فيما يلى : ان كل جسم او كل جزء من ذلك الجسم ، يظهر امامنا بزاوية ابصار ، تقل عن دقيقة زاوية واحدة ، فانه يندمج — بالنسبة للعين السليمة النظر — فى نقطة ، ليس لها اى شكل او اجزاء . وعندما يكون الجسم بعيدا جدا عن العين ، او صغيرا جدا بالذات ، بحيث يظهر امام العين باجمعه ، او تظهر بعض اجزائه ، بزاوية ابصار اقل من دقيقة زاوية واحدة ، لا تستطيع العين فى هذه الحالة تمييز ملامحه بالتفصيل . ويحدث ذلك لانه عند مثل زاوية الابصار هذه ، نرى بان صورة الجسم (او صورة جزء معين منه) ، الساقطة على شبكية العين ، لا تغطى مجموعة كبيرة من الخلايا البصرية للشبكية ، دفعة واحدة ، ولكنها تسقط باجمعها على خلية بصرية واحدة . وفى هذه الحالة تختفى تفاصيل شكل وتركيب الجسم ، ولا ترى العين سوى نقطة واحدة فقط .

ان دور الميكروسكوب والتلسكوب ، يتلخص فى تغيير اتجاه الاشعة القادمة من الجسم المنظور ، الامر الذى يجعله يبدو للعين بزاوية ابصار اكبر . ونتيجة لذلك ، تتوسع الصورة الساقطة على شبكية العين ، وتغطى عددا اكبر من الخلايا البصرية ، مما يجعل العين تميز بعض الملامح المفصلة للجسم ، التى كانت سابقا

مندمجة في نقطة واحدة . واذا قيل لنا بان الميكروسكوب او التلسكوب ، يكبر ١٠٠ مرة ، فهذا يعني بانه يجعلنا نرى الجسم ، بزاوية ابصار تزيد بـ ١٠٠ مرة ، على زاوية الابصار التي ننظر منها الى ذلك الجسم بالعين المجردة (بدون تلسكوب او ميكروسكوب) . واذا كان الجهاز البصري ، لا يكبر زاوية الابصار ، فانه لا يكبر الجسم المنظور بتاتا ، على الرغم مما يبدو لنا ، وكأننا نرى الجسم مكبرا . وقد ظهرت العين على الجدار ، كبيرة جدا بالنسبة لي ، ولكنني لم الاحظ عليها اية تفاصيل اضافية ، بالنسبة لما اراه عندما انظر في المرآة . وعندما يكون القمر منخفضا عند الافق ، يبدو لنا اكبر بكثير ، مما يكون عليه عند وجوده في كبد السماء . ولكننا هل نلاحظ على ذلك القرص المكبر ، ولو بقعة صغيرة جدا ، لا يمكن ملاحظتها عند وجود القمر في اعلى نقطة من السماء ؟

واذا عدنا الى حالة التكبير ، المذكورة في قصة ادجار بو « ابو الهول » ، لتأكدنا بانه في هذه الحالة ايضا ، لا وجود لاية تفاصيل اضافية جديدة ، في ذلك الجسم المكبر . ان زاوية الابصار لم تتغير ، حيث كان الرجل ينظر الى الفراشة بنفس زاوية الابصار بالذات ، دون ان يؤثر على ذلك وجودها على الرابية البعيدة ، ام على النافذة القريبة . وبما ان زاوية الابصار لا تتغير ، فان تكبير الجسم ، مهما ادهش مخيلتنا ، لن يجعلنا نعثر على اية تفاصيل جديدة ، تخص ذلك الجسم . وقد كان ادجار بو كفنان حقيقي مخلصا للطبيعة ، حتى في هذه الفقرة من قصته . هل لاحظ القارئ كيف يصف ادجار بو « الوحش » في الغابة ؟ ان قائمة الاعضاء المختلفة للحشرة ، لا تحتوي على اي شئ جديد ، يمكن اضافته الى « الرأس شبه الميت » ، الذي يبدو امام العين المجردة . واذا قارنا كلا الوصفين — اللذين لم يقدمهما المؤلف اعتباطا — لتأكدنا بانهما لا يختلفان الا من ناحية التعابير المجازية فقط (الصفائح المعدنية ذات القطر الذي يبلغ ١٠ اقدام — يقصد بها حراشف الفراشة ، والقرنان الهائلان — شارباها ، وانياب الخنزير — مجساتها ، الخ) ، مع عدم وجود اية تفاصيل جديدة في الوصف الاول ، لا يمكن تمييزها بالعين المجردة . ولو كان تأثير



شكل ١٢٨ : ان العدسة تكبر الصورة الواقعة على شبكية العين .

الميكروسكوب ، محصورا فى مثل هذا النوع من التكبير فقط ، لكان عديم الفائدة من الناحية العلمية ، ولتحول الى مجرد لعبة مسلية فقط . ولكننا نعلم بان الامر ليس كذلك ، لان الميكروسكوب فتح امام الانسان عالما جديدا ، بتوسيع حدود بصرنا الطبيعى ، الى مدى بعيد .

والآن ، نستطيع ان ندرك بوضوح ، السبب الذى يجعل الميكروسكوب بالذات ، يرينا بعض التفاصيل ، التى لم تتضح لعينى ادجار بو ، عندما كان ينظر الى الوحش — الفراشة . ان هذا السبب (ونأتى الى خلاصة ما قلناه سابقا) يعود الى ان الميكروسكوب ، لا يقوم بمجرد تكبير الاجسام بالنسبة للعين ، ولكنه يجعل العين تراها بزاوية ابصار اكبر . ونتيجة لذلك ، تكبر ابعاد صورة الجسم ، الساقطة على شبكية العين ، وتغطى عددا اكبر من الخلايا البصرية ، وبذلك تضع امام وعينا ، كمية اكبر من الانطباعات البصرية المختلفة . ويمكن القول باختصار ، بان الميكروسكوب لا يكبر الاجسام ، بل يكبر صورها الساقطة على شبكية العين .

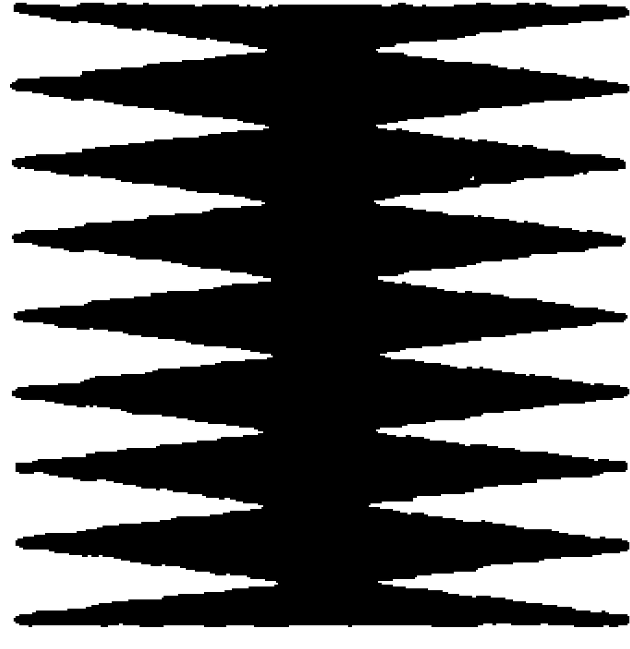
خداع البصر الذاتى

غالبا ما نتحدث عن « خداع البصر » و « خداع السمع » ، مع ان هذين التعبيرين غير صحيحين . ولم نسمع بوجود خداع الحواس . وقد عبر الفيلسوف « كينت » عن ذلك بدقة ، حين قال « ان الحواس لا تخدعنا مطلقا ، لا لانها تحكم على الاشياء حكما صحيحا دائما ، بل لانها لا تحكم على اى شئ بتاتا » .

اذن ، ما الذى يخدعنا ، عندما نعبر عن ذلك بقولنا « خداع الحواس » ؟ من البديهى ان الذى يحكم على الاشياء فى هذه الحالة ، اى الدماغ ، هو الذى



شكل ١٢٩ : اى الرسمين اعرض من الآخر ، الايمن ام الايسر ؟



شكل ١٣٠ : ايهما اكبر من الاخر ، ارتفاع الرسم ام عرضه ؟

يخدعنا . وفى الحقيقة ، فان اكثر حالات خداع البصر ، تعتمد كليا على اننا لا نكتفى بالنظر الى الاشياء فقط ، بل ونحكم عليها بلا وعى ، وهكذا ندفع انفسنا الى ارتكاب الخطأ ، بصورة لاارادية . وهذا هو الخداع الناتج عما نفكر باننا نراه او نسمعه ، لا خداع الحواس . وقبل الفى عام ، قال الشاعر لوكريتيوس : « ان اعيننا غير قادرة على ادراك طبيعة الاشياء ، ولذلك ، يجب علينا الا نتهمها فيما يصدر عنا من احكام خاطئة » .

ولنتناول احد الامثلة المعروفة لخداع البصر : ان الرسم الايسر من الشكل ١٢٩ ، يبدو اضيق من الرسم الايمن ، مع انهما قد حددا بمربعين متساويين تماما . ان سبب ذلك ، يعود الى ان تقديرنا لارتفاع الرسم الايمن ، يأتى نتيجة لجمع المسافات البينية المختلفة ، بلا وعى ، ولذلك يبدو لنا ذلك الارتفاع ، وكأنه اكبر من عرض نفس الرسم ، الذى يساويه تماما . وعلى العكس من ذلك ، ففى الرسم الايمن من نفس الشكل ، يبدو لنا بان العرض اكبر من الارتفاع ، وذلك نتيجة لنفس الحكم غير الواعى . ولنفس السبب السابق بالذات ، يبدو لنا ظاهريا ، بان ارتفاع الرسم المبين فى الشكل ١٣٠ ، اكبر من عرضه .

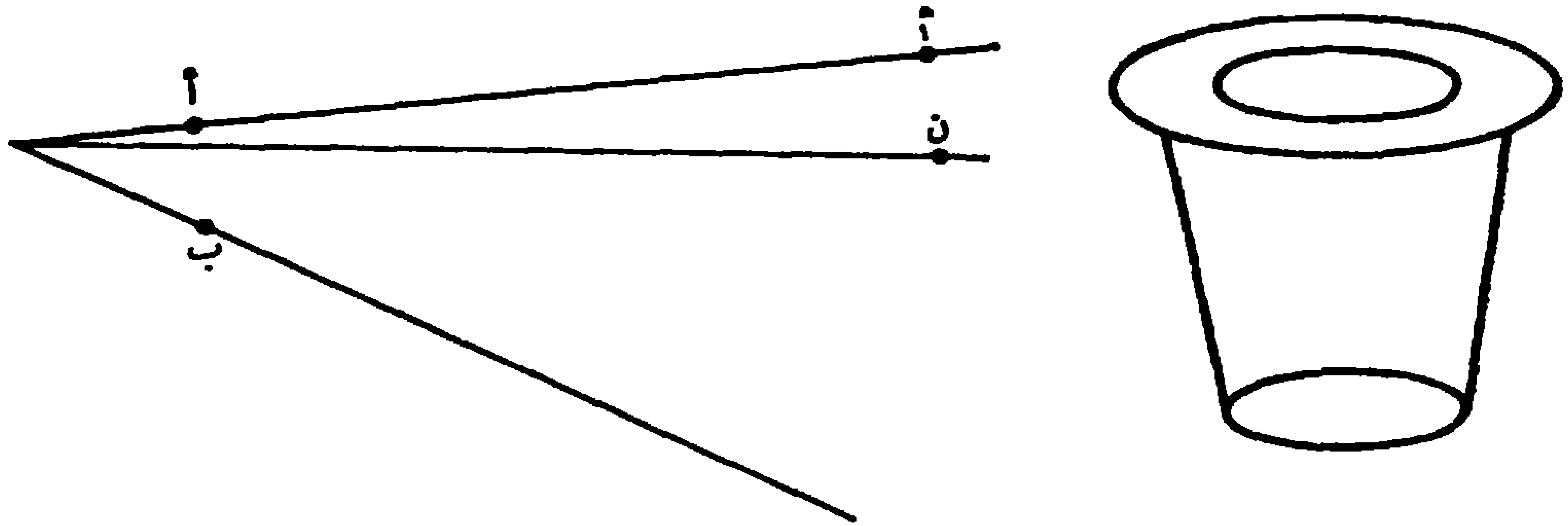
التخيل الذى يفيد الخياطين

اذا اردنا ان نستخدم خداع البصر ، الذى وصفناه اعلاه ، بالنسبة لاجسام اكبر من الاولى ، لا يمكن رؤيتها بالعين دفعة واحدة ، فاننا لن نستطيع تحقيق هذه الغاية . ويعلم الجميع بان الشخص القصير البدين ، الذى يرتدى بدلة مخططة بخطوط عرضية ، لا يبدو انحف مما هو عليه ، بل على العكس من ذلك ، يبدو ابدن مما هو عليه . وبعكس ذلك ، اذا ارتدى الشخص البدين بدلة مخططة بخطوط طولية ، فانه يعمل بذلك على اظهار نفسه ، بشكل اقل بدانة مما هو عليه .

بماذا يفسر هذا التناقض ؟ ان تفسير ذلك يتلخص فى اننا عندما ننظر الى مثل هذه البدلة ، لا تستطيع عيوننا ان تستوعبها دفعة واحدة ، بدون ان تتحرك حدقاتها . وهكذا تقوم عيوننا ، بصورة لاارادية ، بتتبع تلك الخطوط على امتدادها ، عند ذلك تضطرنا جهود عضلات العين ، الى تكبير حجم الجسم باتجاه امتداد الخطوط المذكورة ، بلا وعى . وقد اعتدنا على ربط تصوراتنا للاجسام الكبيرة ، التى لا يتسع لها مجال ابصارنا ، بجهود عضلات العين . غير اننا عندما ننظر الى الرسم المخطط الصغير ، تبقى عيوننا ثابتة ، ولا تصاب عضلاتها بالاعياء .

ايهما اكبر ؟

اى الاهليلجين (القطعين الناقصين) ، المبينين فى الشكل ١٣١ ، اكبر من الاخر ، السفلى ام العلوى الداخلى ؟ من الصعب الا نفكر بان القطع الناقص السفلى ، هو الاكبر . مع ان كلا القطعين الناقصين ، متساويان تماما ، غير ان وجود القطع الناقص الخارجى ، المحيط بالقطع الناقص العلوى الداخلى ، يولد انطباعا لدى الناظر ، بان القطع الناقص العلوى الداخلى ، هو اصغر من القطع الناقص السفلى . ومما يزيد فى قوة هذا التخيل ، عدم ظهور الشكل باجمعه ، بصورة مسطحة ، وظهوره بصورة مجسمة ، على هيئة سطل . وتتحول الاهليلجات فى نظرنا — بصورة لاارادية



شكل ١٣١ : اى الاهليلجين اكبر من الآخر ، السفلى ام العلوى الداخلى ؟

شكل ١٣٢ : اى البعدين اكبر من الاخر ، البعد ا ب ام البعد م ن ؟

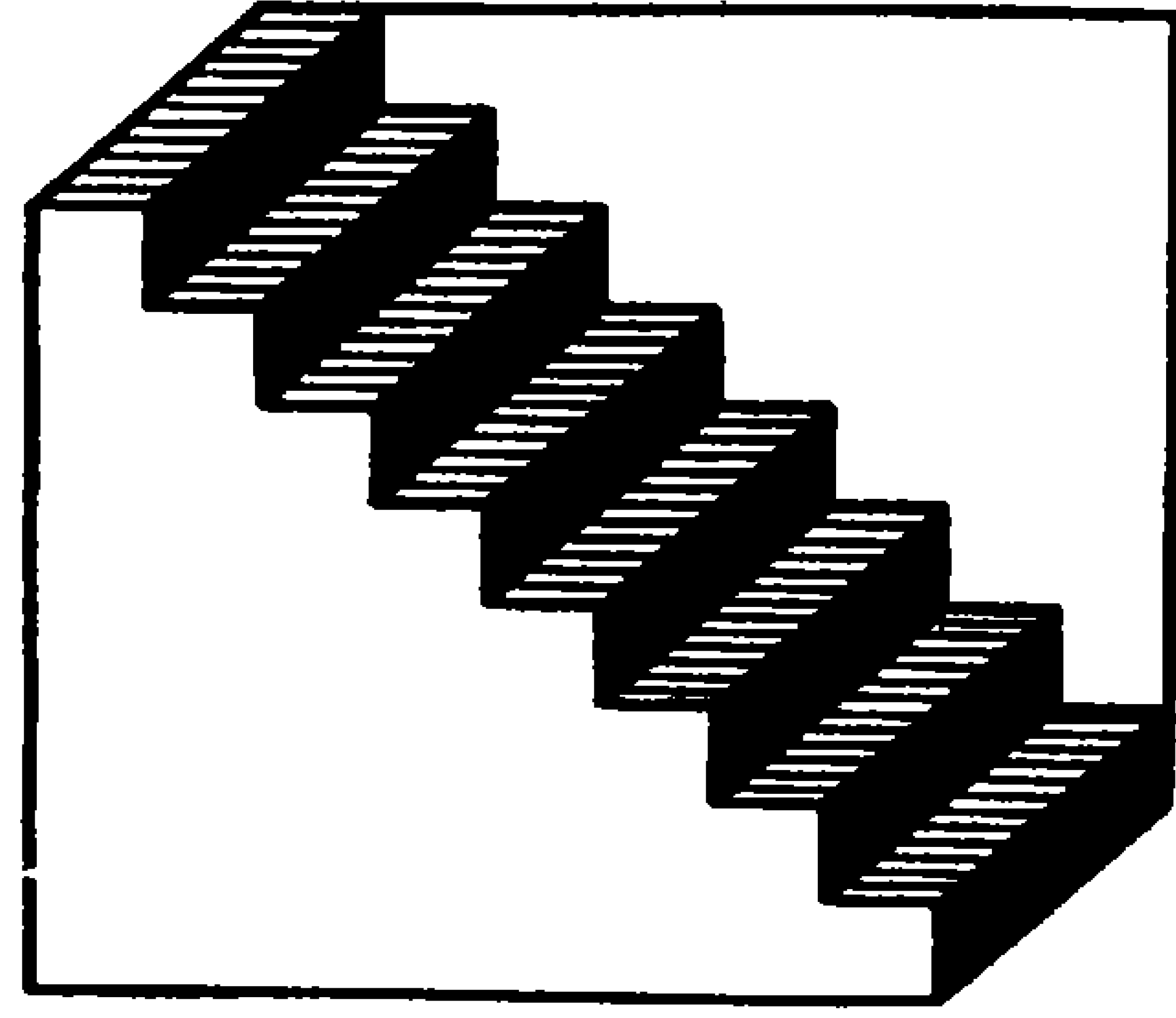
ــ الى دوائر مضغوطة بشكل مجسم ، اما الخطان الجانبيان المستقيمان ، فيتحولان الى جدران السطل .

ان المسافة الموجودة بين النقطتين أ و ب في الشكل ١٣٢ ، تبدو للعين اكبر من المسافة الموجودة بين النقطتين م و ن . ان وجود الخط المستقيم الثالث ، الممتد من نفس النقطة الواحدة ، يساعد على تقوية خداع البصر .

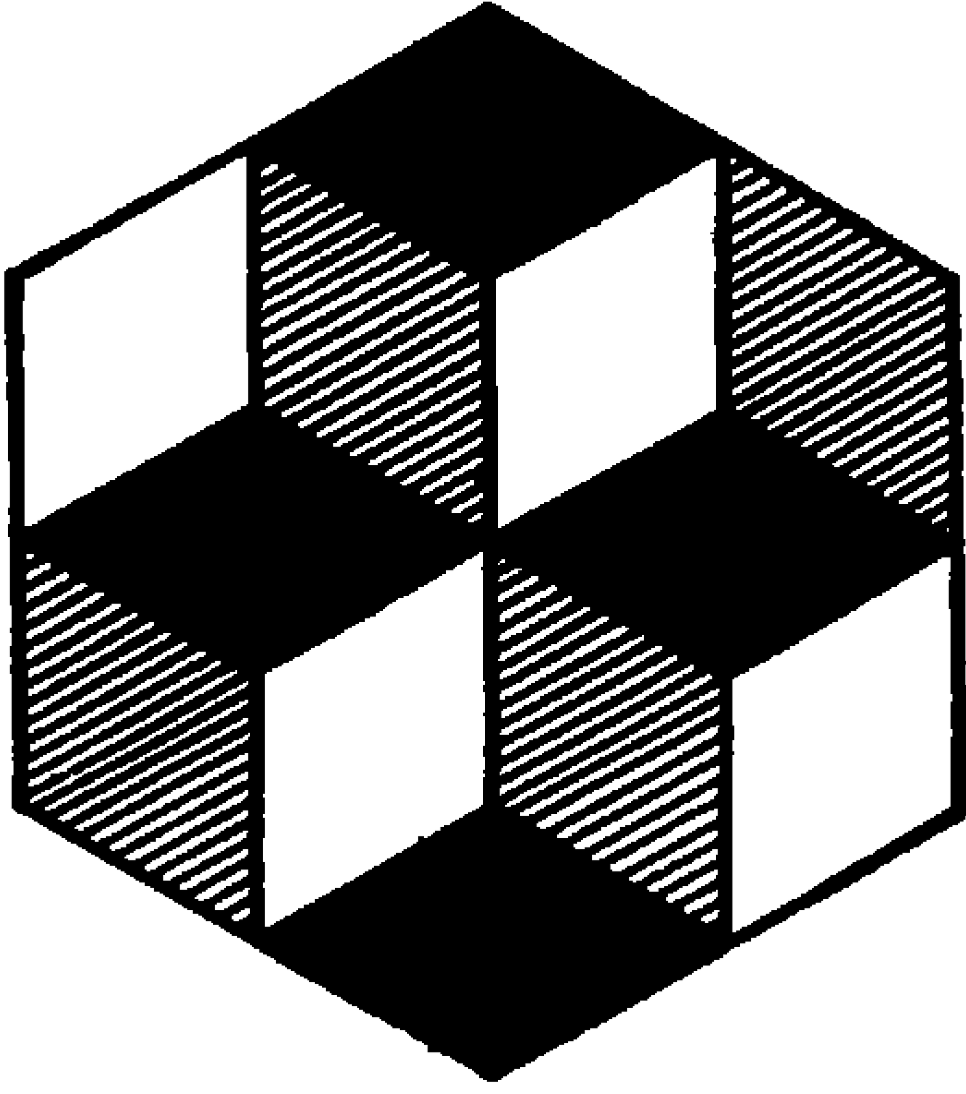
قوة التخيل

ان اكثر حالات خداع البصر ، يعتمد كما ذكرنا سابقا ، على اننا لا نكتفى بالنظر فحسب ، بل ونحكم على الاشياء المنظورة فى نفس الوقت، بلا وعى . ويؤكد علماء الفسيولوجيا « باننا لا ننظر الى الاشياء بأعيننا، ولكن بعقولنا » . ولعل القارئ يتفق مع هذا الرأى ، عندما يشاهد بعض الصور ،التى تجعل مخيلة المشاهد تشترك فى عملية الابصار ، بوعى تام .

انظر الى الشكل ١٣٣ . اذا عرضت هذا الشكل على عدد من الاصدقاء ، وسألتهم عما يرونه فيه ، لحصلت على ثلاثة انواع من الاجوبة المختلفة . سيقول



شكل ١٣٣ : ما الذى يراه القارئ فى هذا الشكل ، هل هو سلم ام تجويف ام شريط منثنى على هيئة اكورديون ؟

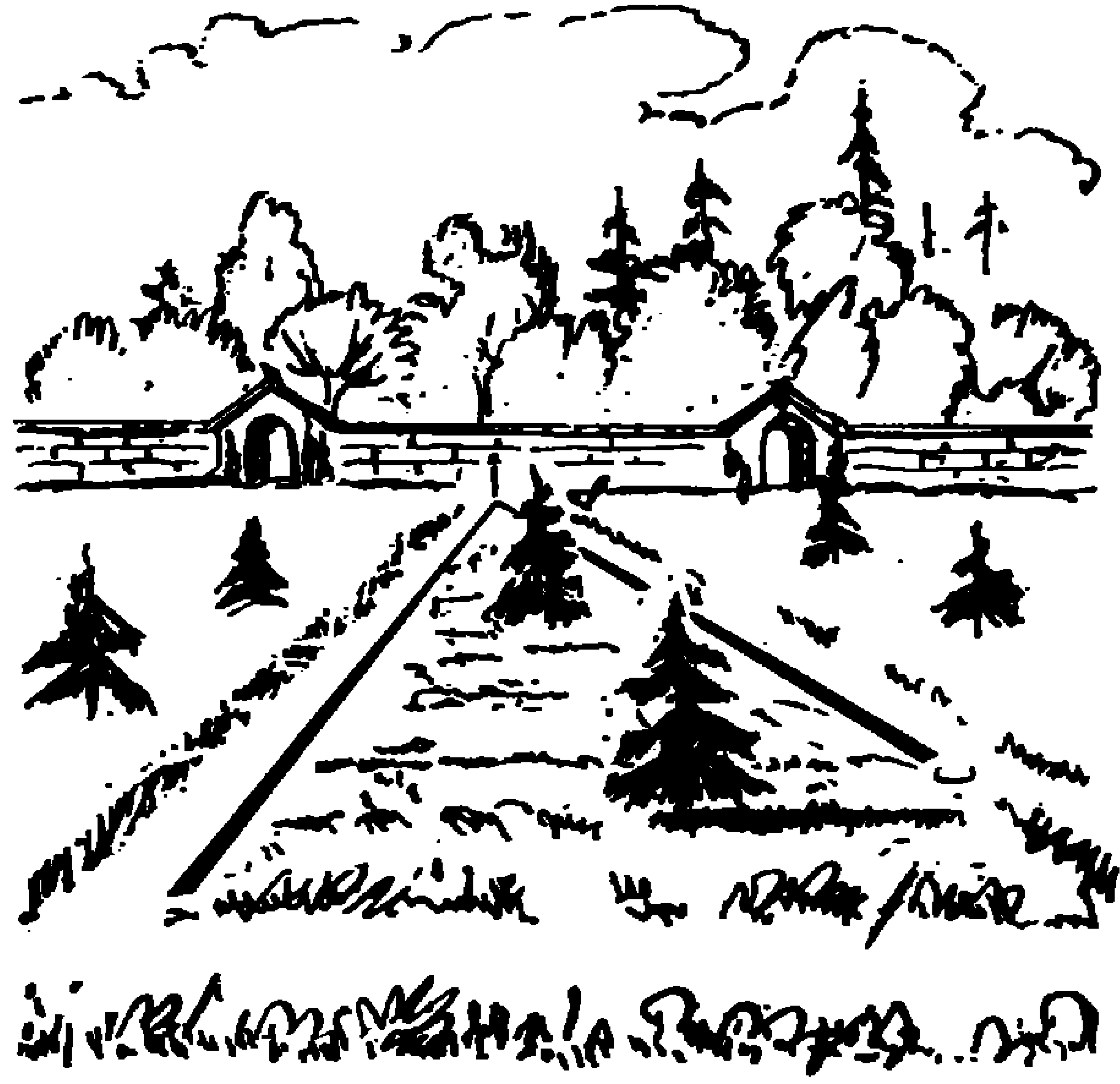


شكل ١٣٤ : ما هى وضعية المكعبات فى هذا الشكل، وأين هما المكعبان ، فى الاعلى أم فى الاسفل ؟

البعص بان الشكل المذكور يمثل سلّما ؛ ويقول البعض الاخر بانه يمثل تجويفا محفورا فى الجدار . اما الاخرون فسيقولون بانهم يرون فيه شريطا ورقيا ، مثنيا على هيئة اكورديون ، وممتدا عبر مربع ابيض ، بصورة مائلة .

ومن الغريب جدا ، ان نعلم بان الاجوبة الثلاثة، كلها صحيحة ! وباستطاعة القارئ ان يرى بنفسه ، الاشياء الثلاثة المذكورة فى الاجابات ، اذا نظر الى الشكل من زواياه المختلفة ، وذلك بان يحاول قبل كل شئ ، ان يوجه نظرته الى القسم الايسر من الشكل ، حيث سيظهر امامه سلّم . واذا نظر الى الشكل من اليمين الى اليسار ، فسيرى تجويفا . اما اذا نظر الى الشكل بصورة مائلة ابتداء ، من الزاوية السفلى اليمنى الى الزاوية العليا اليسرى ، فسيرى شريطا ورقيا مثنيا على هيئة اكورديون .

وعند النظر لفترة طويلة ، يضعف الانتباه ، وسوف يرى القارئ فى هذه الحالة ، بان الاشكال الثلاثة ستتراءى امامه ، فمرة يرى الشكل الاول ، واخرى الشكل الثانى ، ثم الشكل الثالث ، وذلك بغض النظر عن رغبته . ويتميز الشكل ١٣٤ ، بنفس الميزات المذكورة اعلاه .

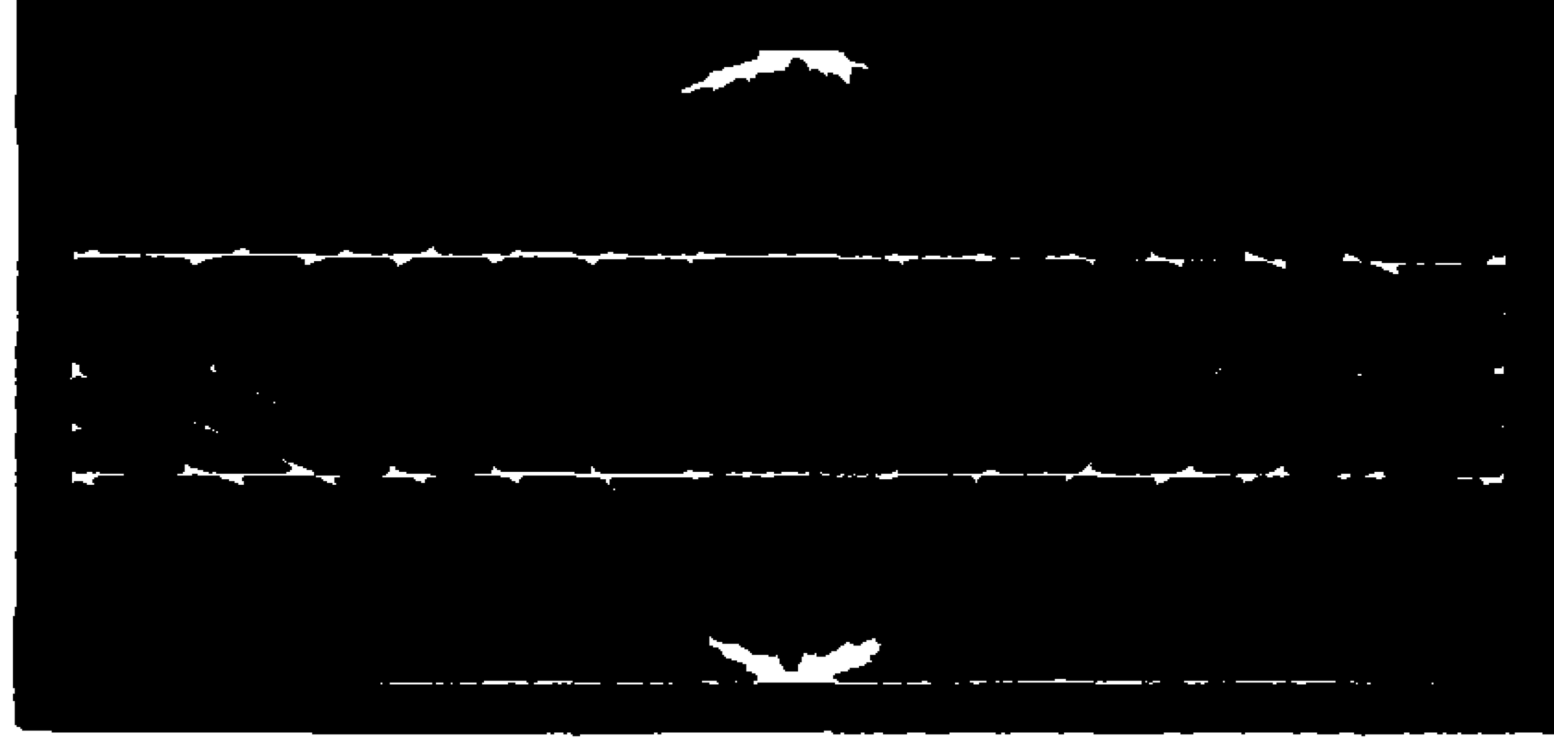


شكل ١٣٥ : اى طريق اطول من الآخر ، الطريق آب أم الطريق آ ـ ؟

ويمثل الشكل ١٣٥ ، خدعة بصرية طريفة ، حيث يجعل القارئ يؤكد بصورة لاارادية ، بان المسافة أ ب اقصر من أ ـ ، فى حين انهما فى الحقيقة متساويتان .

انواع اخرى من خداع البصر

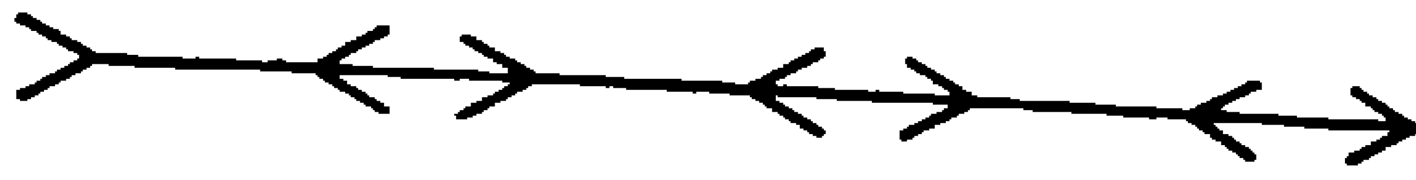
ليس باستطاعتنا تفسير جميع انواع خداع البصر . وفى اغلب الاحيان ، لا يمكننا ان نحزر ما هو نوع الاستنتاجات ، التى تتكون فى دماغنا ، وتجعله يتصور هذا النوع او ذاك ، من انواع خداع البصر . ويظهر فى الشكل ١٣٦ ، بكل وضوح ، قوسان متقابلا التحدب . ولا يشك احد فى جلية هذا الامر . ولكن ما ان نضع المسطرة المستقيمة على هذين القوسين الموهومين ، او ننظر اليهما طوليا ، مع رفع الشكل الى مستوى النظر ، الا ويتضح لنا بانهما مستقيمان . وليس تفسير هذه الخدعة البصرية سهلا كما يتصوره البعض .



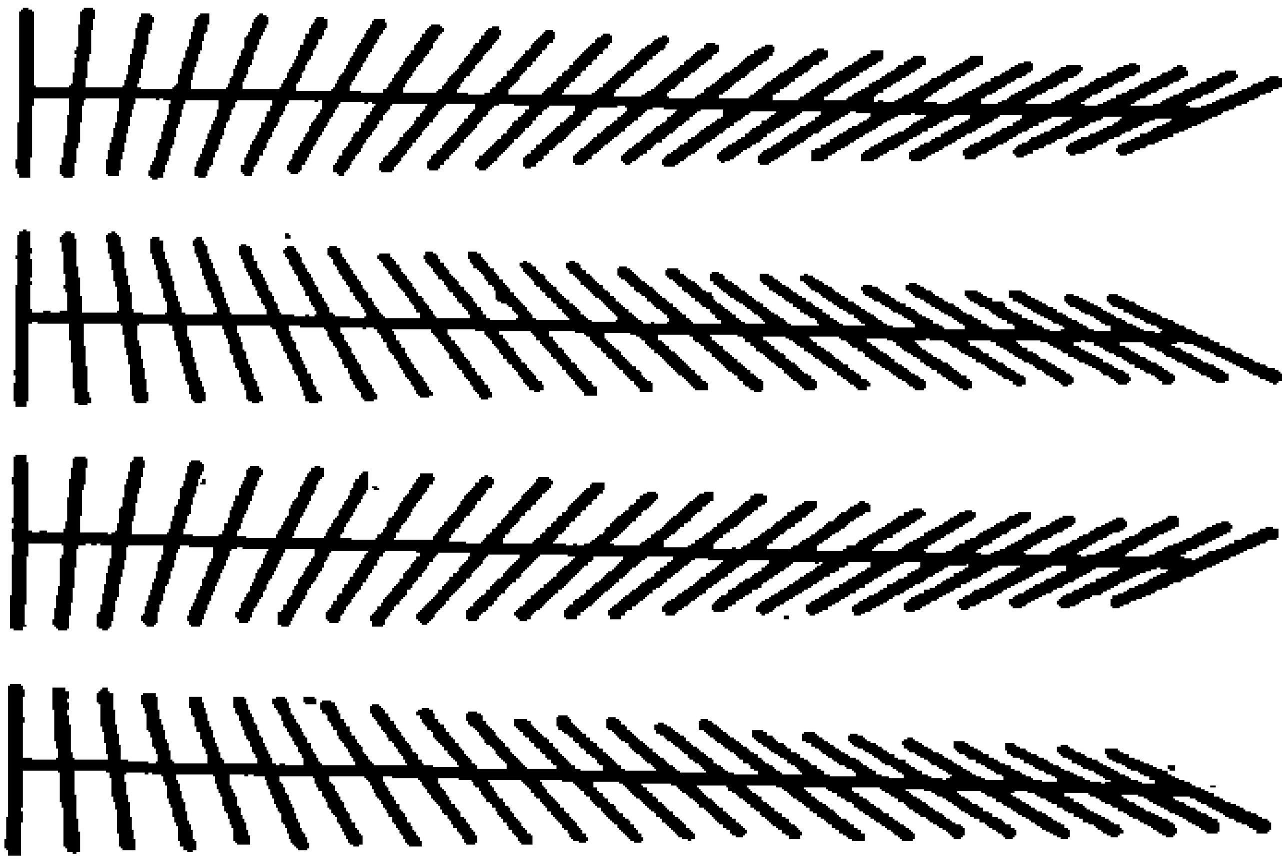
شكل ١٣٦ : ان الخطين الوسطيين الممتدين من اليمين الى اليسار ، هما مستقيمان متوازيان بالرغم من مظهرهما الخارجي الذى يوحي بانهما قوسان متقابلا التحدب . ولكن هذه الخدعة البصرية تزول اذا قمنا بما يلي : ١ – رفع الشكل الى مستوى العين والنظر اليه بامتداد الخطين ؛ ٢ – وضع رأس القلم في نقطة ما من الشكل المذكور ، وتركيز النظر في تلك النقطة .

ونقدم للقراء الآن ، بعض الانواع الاخرى من خداع البصر . ان من ينظر الى المستقيم المبين في الشكل ١٣٧ ، يتصور بان اقسامه الستة غير متساوية . ولكن بقياس اطوال هذه الاقسام ، نجد انها متساوية تماما . ان الخطوط المستقيمة المتوازية الاربعة ، المبينة في الشكلين ١٣٨ و ١٣٩ ، تبدو غير متوازية بالنسبة للعين . والدائرة المبينة في الشكل ١٤٠ ، تبدو وكأنها على شكل بيضة . ومن المدهش ان نلاحظ بان الخدع البصرية ، المبينة في الاشكال ١٣٧ و١٣٨ و ١٣٩ ، تفقد مفعولها اذا نظرنا اليها على ضوء شرارة كهربائية . ويدل هذا على ان سر هذه الخدع ، يكمن في حركة العين ، وذلك لان الوقت القصير جدا ، الذى يستغرقه وميض الشرارة الكهربائية ، لا يسمح بحدوث مثل هذه الحركة . وهذه خدعة بصرية اخرى ، لا تقل طرافة عن الخدع السابقة . اى الخطوط الموجودة في الشكل ١٤١ ، اطول من الاخرى ، الخطوط الواقعة الى اليسار ام الخطوط الواقعة الى اليمين ؟

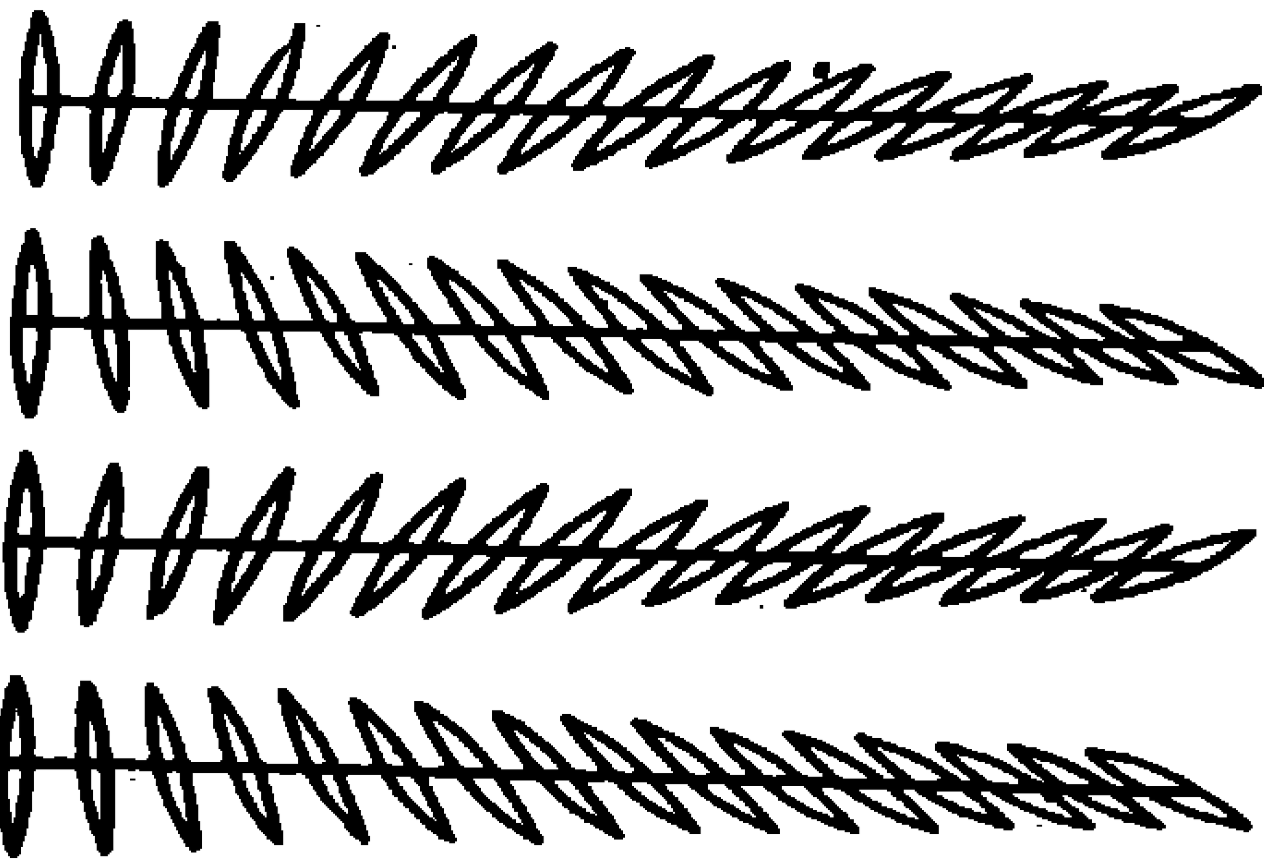
ان الخطوط الواقعة الى يسار الشكل ، تبدو اطول من تلك الواقعة الى يمينه ،



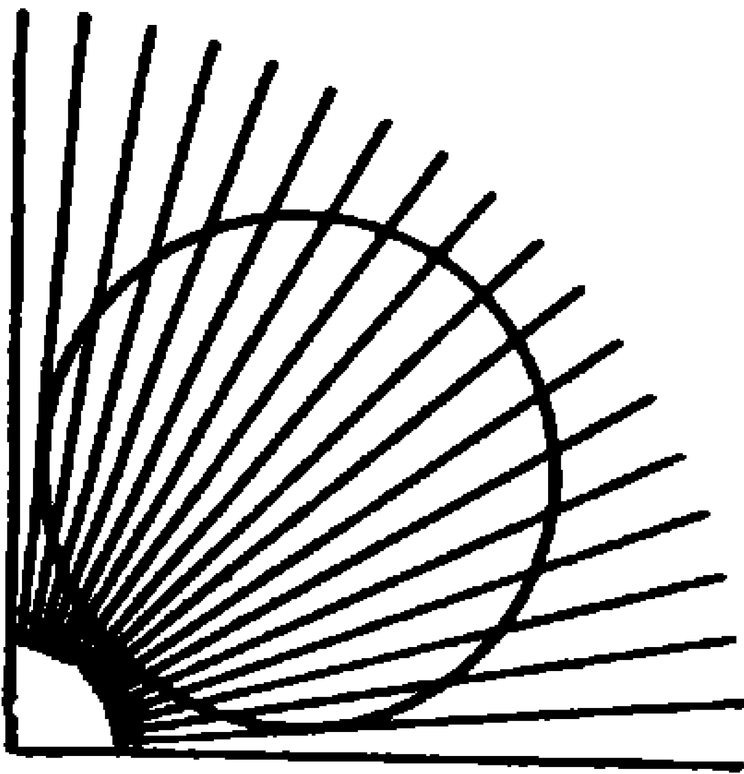
شكل ١٣٧ : هل ان هذا الخط المستقيم مقسم الى ستة اقسام متساوية ؟



شكل ١٣٨ : ان الخطوط المستقيمة المتوازية ، تبدوا وكأنها غير متوازية .



شكل ١٣٩ : نموذج آخر من الخدعة البصرية المبينة في الشكل ١٣٩ .



شكل ١٤٠ : اهذه دائرة ام لا ؟



شكل ١٤١ : الخدعة البصرية المسماة بـ « خدعة الغليون » . ان الخطوط اليمنى تبدوا في الشكل وكأنها اقصر من الخطوط اليسرى المساوية لها في الطول .

مع ان جميع الخطوط متساوية فى الطول تماما * . وتسمى هذه الخدعة البصرية ، بخدعة « الغليون » .

وقد ظهرت عدة تفسيرات لهذه الخدع الطريفة ، ولكنها ضعيفة الحجة ، وسوف لا نتعرض اليها فى هذا البحث . وهناك شئ واضح لا شك فيه ، وهو ان سر هذه الخدع البصرية ، يكمن فى الحكم على الاشياء بلا وعى ، وفى « الفلسفة الماكرة » اللاارادية لعقلنا ، التى تحول بيننا ، وبين رؤية الاشياء على حقيقتها .

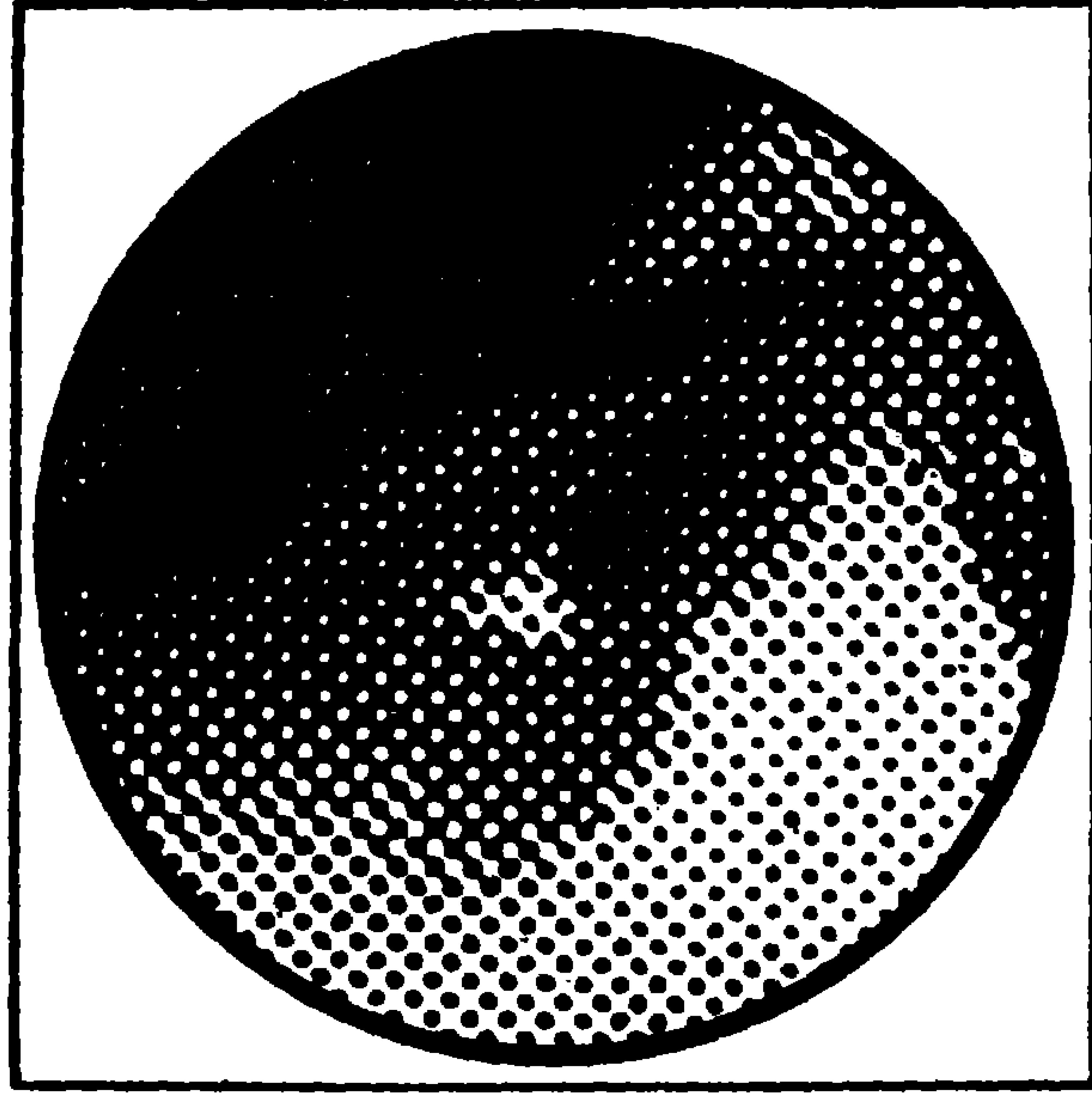
ما هذا ؟

عندما ينظر القارئ الى الشكل ١٤٢ ، يجد صعوبة فى معرفة الشئ الذى يمثله ذلك الشكل فى الحال . وسيقول القارئ بان الشكل يمثل « مجرد شبكة سوداء ، لا اكثر » . ولكن ، اذا وضع القارئ الكتاب بصورة عمودية على المنضدة ، وابتعد عنه بمسافة تتراوح بين ٣ ــ ٤ خطوات ، فانه سيرى عينا بشرية . واذا اقترب من الشكل ، فسيرى مرة ثانية ، شبكة لا تعبر عن اى شئ .

وسيظن القارئ بطبيعة الحال ، بان هذا الشكل هو « خدعة » فنية ، من ابتكار نقاش حاذق . غير ان الامر ليس كذلك ، اذ ان الشكل المذكور يعتبر مثالا تقريبيا لتلك الخدعة البصرية ، التى نستسلم لها كلما ننظر الى ما يسمى بالصور ذات « اللون النصفى » ــ وهو لون ليس بالداكن جدا ولا بالفاتح جدا . ان خلفية الصور المطبوعة فى الكتب والمجلات ، تبدو للعين متراصة دائما ، ولكن عندما ننظر اليها من خلال عدسة مكبرة ، تظهر امامنا نفس الشبكة المبينة فى الشكل ١٤٢ . ان هذا الشكل الذى يحير القارئ ، ما هو الا عبارة عن جزء من صورة عادية ، تم تكبيره بمقدار ١٠ مرات . ويتمثل الفرق فى شئ واحد فقط ، هو انه عندما تكون الشبكة ناعمة ، فانها تندمج فى خلفية واحدة متراصة ، على مسافة قريبة ، تساوى المسافة

---

* ان هذا الشكل يعتبر بمثابة ايضاح للمبدأ الهندسى المعروف ، الذى ينص على ان مساحتى قسمى الغليون ، متساويتان .



شكل ١٤٢ : اذا نظرنا الى هذه الشبكة من مسافة بعيدة نوعا ما ، لاستطعنا بسهولة ان نميز فيها الطرف الايمن لوجه امرأة مع العين وجزء من الانف .

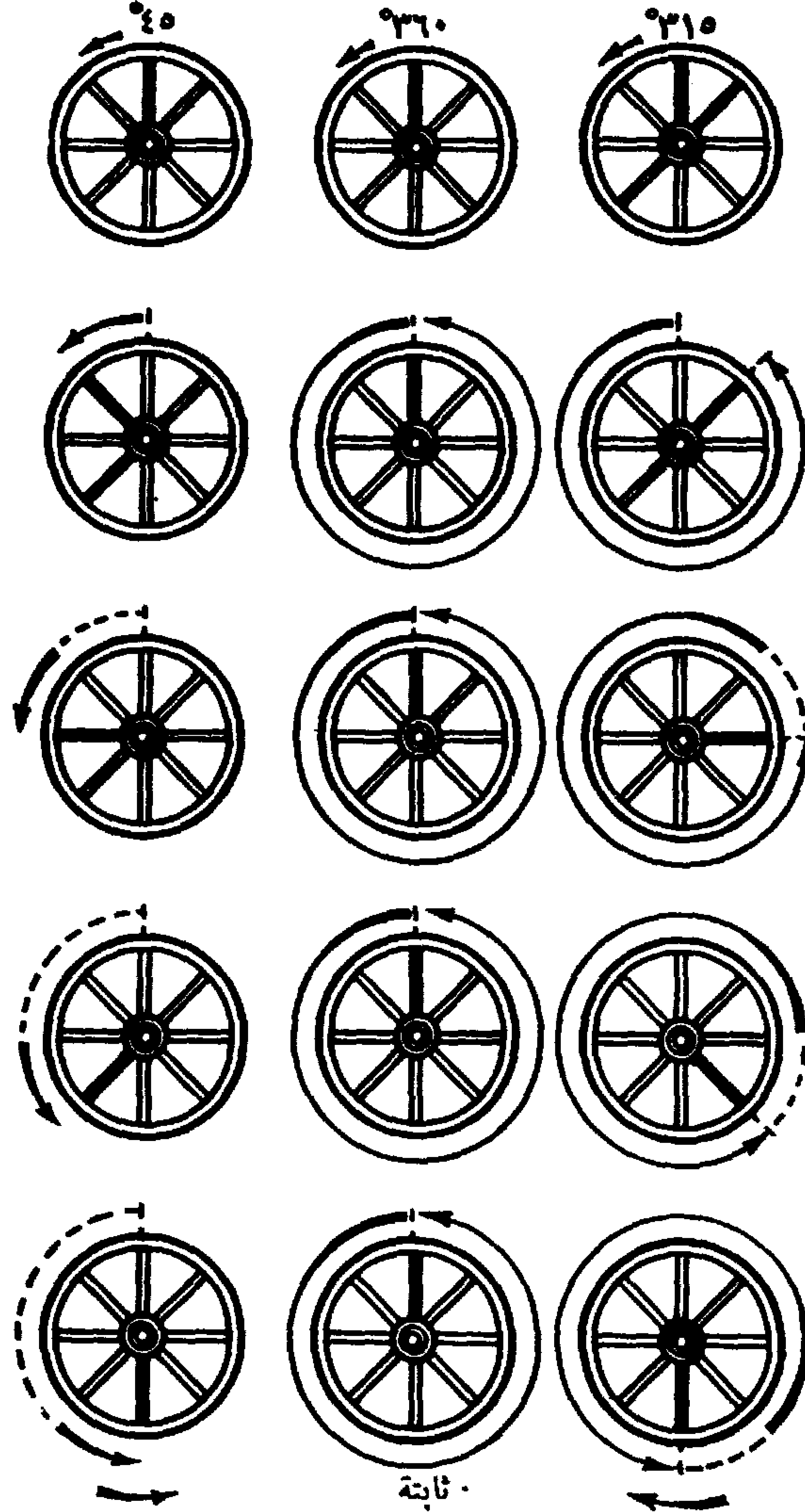
التى نبعد بها الكتاب عن اعيننا عند القراءة . اما عندما تكون الشبكة خشنة ، فان الاندماج المذكور يتم على مسافة ابعد . ويستطيع القارئ ان يفهم كل ما ذكرناه بسهولة ، اذا عاد بذاكرته الى مناقشاتنا السابقة ، المتعلقة بزاوية الابصار .

العجلات الشاذة

هل حدث وان تتبع القارئ ، من خلال شق فى الجدار ، او على شاشة السينما ، حركة برامق عجلات احدى العربات المنطلقة بسرعة ؟

لعل القارئ قد لاحظ فى هذه الحالة ، ظاهرة غريبة ، وهى ان العربة تتحرك بسرعة كبيرة جدا ، بينما تتحرك عجلاتها بصعوبة ، او لا تتحرك بتاتا . وبالاضافة الى ذلك ، فان حركة العجلات فى بعض الاحيان تكون بعكس اتجاه العربة بالذات !

الاتجاه الحقيقى للدوران



الاتجاه الظاهرى للدوران

شكل ١٤٣ : سبب الحركة الغامضة للعجلات كما تظهر على شاشة السينما .

ان هذه الخدعة البصرية ، شاذة الى درجة تجعل كل من يشاهدها لاول مرة ، يقع في حيرة تامة .

وتفسر هذه الخدعة البصرية بما يلي : عندما نتتبع حركة دوران العجلات من خلال شق في الجدار (مع تحريك العين بمحاذاة الجدار) ، فاننا لا نرى برامق العجلات بصورة مستمرة ، بل خلال فترات زمنية متساوية ، وذلك لان الجدار يحول دون ان تراها العين في كل لحظة . وبنفس الطريقة بالذات ، تلتقط الافلام السينمائية صور العجلات بشكل متقطع ، في لحظات معينة (٢٤ صورة في الثانية الواحدة) . وتنشأ نتيجة لذلك ، ثلاث حالات محتملة ، سنشرحها هنا على التوالي .

الحالة الاولى : يمكن ان تدور العجلة خلال الفاصلة الزمنية ، دورات كاملة ، بغض النظر عن عددها ، أكان ٢ ام ٢٠ — لان المهم ان يكون عددا صحيحا . وعندئذ ستأخذ برامق العجلة ، في الصورة الجديدة ، نفس الوضعية التي كانت عليها في الصورة السابقة . وفي الفاصلة الزمنية التالية ، تدور العجلة دورات كاملة من جديد (مع عدم تغير مقدار الفاصلة الزمنية وسرعة العربة) ، وتبقى البرامق على وضعيتها السابقة . وعندما نرى البرامق في وضعية واحدة دائما ، نتصور بان العجلة لا تتحرك مطلقا (العمود المتوسط في الشكل ١٤٣) .

الحالة الثانية : تدور العجلة خلال كل فاصلة زمنية عددا كاملا من الدورات مع جزء ضئيل من اجزاء الدورة . وعندما نشاهد تغير هذه الصور ، فاننا سوف لا نشعر بعدد الدورات الكاملة ، بل سنرى الدوران البطئ للعجلة (التي تدور في كل مرة ، بمقدار جزء ضئيل من اجزاء الدورة الواحدة) . وفي النهاية ، يبدو لنا بان العجلة تدور ببطء ، على الرغم من حركة العربة السريعة .

الحالة الثالثة : تدور العجلة خلال الفاصلة الزمنية بين الصور ، دورة غير كاملة ، تختلف عن الدورة الكاملة بمقدار قليل (مثلا تدور بزاوية قدرها ٣١٥ ، كما هو مبين في العمود الثالث من الشكل ١٤٣) . وعندئذ سيبدو لنا بان احد البرامق

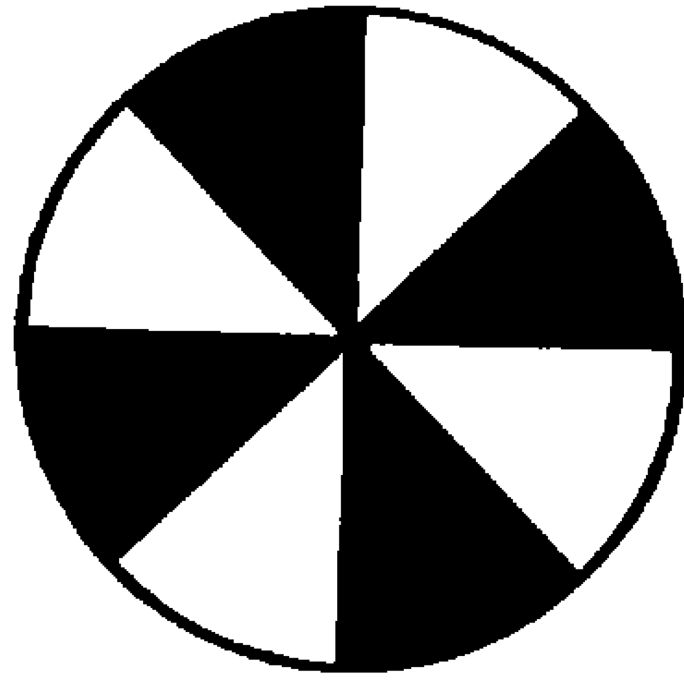
بالذات ، يدور فى الاتجاه المعاكس . ويبقى هذا الانطباع الخادع عالقا فى مخيلتنا ، الى ان تتغير سرعة دوران العجلة .

ونضيف الآن بعض الملاحظات القليلة ، الى التفسير المذكور اعلاه . فى الحالة الاولى ، تحدثنا – لتبسيط الشرح – عن عدد الدورات الكاملة للعجلة . ولكن بما ان برامق العجلة متشابهة مع بعضها ، اذن يكفى فى هذه الحالة ، ان تدور العجلة بمقدار عدد كامل من المسافات الموجودة بين البرامق . وينطبق هذا الشئ على الحالتين الاخريين ايضا .

وبالاضافة الى ذلك ، توجد بعض الحالات الطريفة الاخرى . اذا وضعت اشارة على اطار العجلة ، فسوف نرى بان الاطار سيتحرك فى اتجاه معين ، بينما تتحرك البرامق – المتشابهة مع بعضها – فى الاتجاه المعاكس ! واذا وضعنا علامة على احد البرامق ، فسوف نرى بان البرامق ستتحرك في الاتجاه المعاكس للعلامة التى ستبدو وكأنها تقفز من برمق الى آخر .

وعندما نشاهد فى دور السينما ، بعض المناظر العادية ، فان هذه الخدعة البصرية لا تؤثر على عمق الانطباع المتكون لدينا ، الا بقدر ضئيل . اما اذا اريد شرح كيفية تشغيل بعض الاليات المعينة ، على شاشة السينما ، فان هذه الخدعة البصرية ، قد تحدث سوء فهم لدى المشاهدين ، حتى انها قد تشوه الفكرة التى سيأخذها البعض ، عن كيفية اشتغال تلك الاليات . وعندما يشاهد الانسان اليقظ ، العجلة الثابتة الموهومة للعربة المنطلقة بسرعة ، على شاشة السينما ، فانه يستطيع بسهولة ان يعرف الى حد ما ، عدد الدورات التى تدورها العجلة فى الثانية الواحدة ، وذلك باحصاء عدد برامقها .

ان سرعة عرض الفلم على الشاشة ، تقدر عادة بـ ٢٤ صورة فى الثانية الواحدة . فاذا بلغ عدد برامق عجلة العربة ، ١٢ برمقا ، فان عدد دوراتها فى الثانية الواحدة ، يساوى $\frac{٢٤}{١٢}$ ، اى يساوى دورتين فى الثانية ، او دورة واحدة فى كل نصف ثانية .



شكل ١٤٤ : قرص يستخدم لتعيين سرعة دوران المحرك .

وهذا هو اقل عدد من الدورات ؛ ويمكن ان يتضاعف بعدد كامل من المرات (مرتان او ثلاثة .. الخ). وبتقدير طول قطر العجلة ، يمكن ان نقدر سرعة العربة بناء على ذلك . مثلا ، عندما يبلغ قطر العجلة ٨٠ سم ، تقدر السرعة فى هذه الحالة بـ ١٨ كم/ساعة تقريبا (او ٣٦ كم/ساعة او ٥٤ كم/ساعة .. الخ). ان الخدعة البصرية التى بحثناها الآن، تستخدم فى الاغراض التكنيكية، لحساب عدد دورات اعمدة الادارة (المحاور) السريعة الدوران. وسنشرح فيما يلى، المبدأ الذى تقوم عليه طريقة الحساب . ان قوة اضاءة المصباح الكهربائى ، الذى يعمل على التيار المتردد ، لا تبقى ثابتة ، حيث يضعف الضوء خلال كل $\frac{1}{100}$ من الثانية ، مع اننا فى الظروف العادية ، لا نلاحظ اية ومضة . ولكن ، لنتصور باننا اضأنا قرصا يدور ، بهذا الضوء ، وهو القرص المبين فى الشكل ١٤٤ . فاذا كان القرص يدور ، بحيث يقوم بـ $\frac{1}{4}$ دورة فى كل $\frac{1}{100}$ من الثانية ، فسوف نلاحظ ظاهرة غير متوقعة ، وهى اننا نرى بدلا من القرص الرمادى المنتظم ، قطاعات سوداء وبيضاء ، كما لو كان القرص ثابتا فى مكانه ولا يدور .

ان القارئ الذى ادرك سبب الخدعة البصرية ، التى صادفتنا فى حالة العجلة ، سيدرك ايضا سبب هذه الظاهرة كما اتوقع . ومن السهل عليه كذلك ، ان يعرف كيفية استخدام هذه الظاهرة ، لحساب عدد دورات عمود الادارة .

استخدام الميكروسكوب البطيء الحركة فى التكنولوجيا

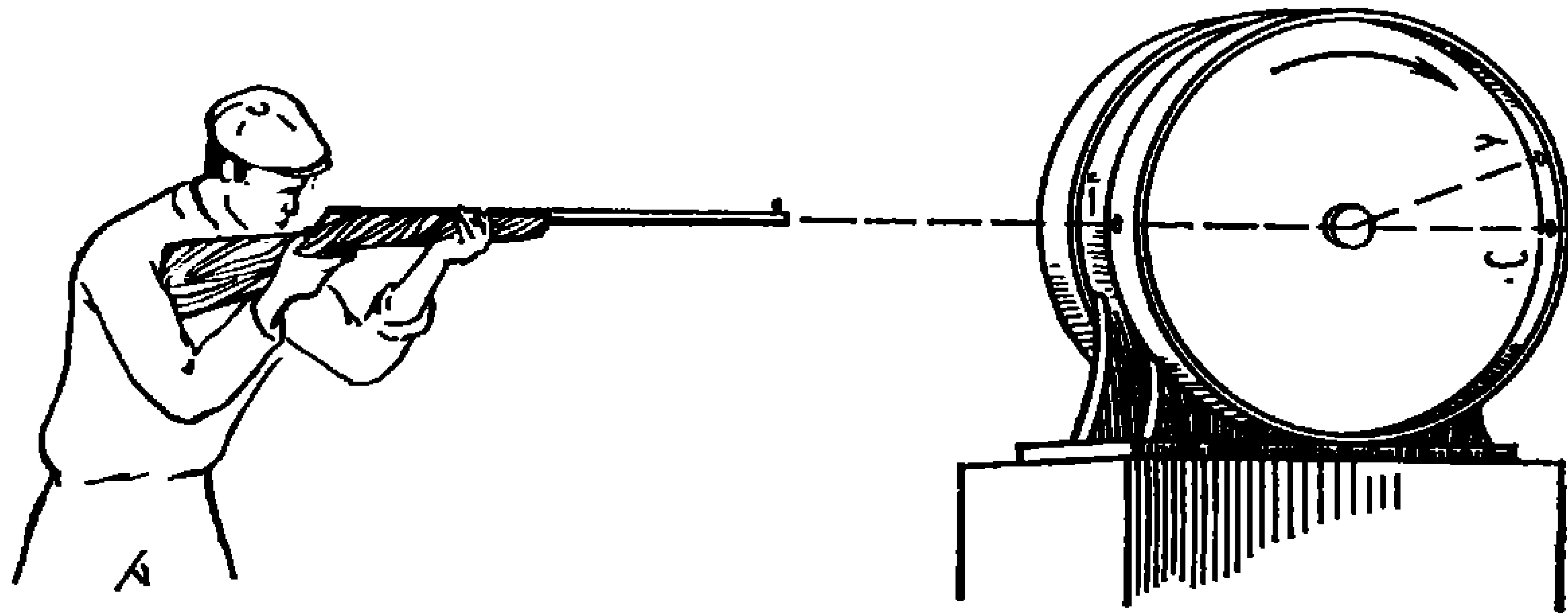
لقد شرحنا للقارئ فى الكتاب الاول من « الفيزياء المسلية » آلة التصوير السينمائية البطيئة الحركة . وسنتحدث الان عن طريقة اخرى للحصول على نفس التأثير ، تستند الى الظاهرة التى شرحناها فى الموضوع السابق .

لقد سبق وعلمنا ، بانه عند اضاءة القرص ذى القطاعات السوداء (شكل ١٤٤) ، الذى يدور ٢٥ دورة فى الثانية ، بمئة ومضة من ومضات المصباح الكهربائى فى كل ثانية ، فانه سيبدو للعين وكأنه ثابت لا يدور . ولكن لنتصور بان عدد الومضات قد وصل الى ١٠١ ومضة فى الثانية . وفى خلال الفاصلة الزمنية ، الواقعة بين ومضتين متتاليتين من هذا النوع ، لا يتسنى للقرص ، الوقت اللازم للدوران كالسابق ، بمقدار ربع دورة بالتمام ، وهذا يعنى ان القطاع المناظر ، سوف لا يصل الى وضعيته الابتدائية .

ان العين سترى القرص متأخرا بمقدار $\frac{١}{١٠٠}$ من محيطه . وعند الومضة التالية ، سيبدو متأخرا بمقدار $\frac{١}{١٠٠}$ ايضا وهلم جرا . وسوف يتهيا لنا بان القرص يدور الى الوراء ، دورة واحدة فى كل ثانية . اى ان الحركة قد ابطأت بمقدار ٢٥ مرة .

ومن السهل ان نتصور كيف يمكننا ان نرى نفس الحركة الدورانية البطيئة ، ولكن ليس فى الاتجاه المعاكس ، بل فى الاتجاه الطبيعى . ولتحقيق ذلك ، يجب الا نزيد عدد ومضات الضوء ، بل نقلله . مثلا ، عندما يصل العدد المذكور الى ٩٩ ومضة فى الثانية ، يبدو القرص وكأنه يدور الى الامام ، دورة واحدة فى كل ثانية .

ويكون لدينا فى هذه الحالة ، ميكروسكوب بطئ الحركة ، بتعوق زمنى يساوى ٢٥ . ولكن باستطاعتنا تماما ، الحصول على تعوق زمنى اكبر . مثلا ، اذا وصل



شكل ١٤٥ : قياس سرعة انطلاق الرصاصة .

عدد الومضات الى ٩٩٩ ومضة فى كل عشر ثوان (اى ٩٩,٩ ومضة فى الثانية) ، فسوف يبدو القرص ، وكأنه يدور دورة واحدة فى كل ١٠ ثوان ؛ اى بتعوق زمنى يساوى ٢٥٠.

ويمكن ابطاء اية حركة دورانية سريعة ، بالنسبة للعين ، بنفس الطريقة السابقة ، وذلك الى الدرجة التى نريدها . وهذا يمكننا بسهولة ، من دراسة خواص حركة الاليات السريعة للغاية ، بابطاء حركتها بواسطة ميكروسكوب الحركة البطيئة الى ١٠٠ او ١٠٠٠ مرة وهلم جرا * .

واخيرا ، سوف ناتى على وصف طريقة قياس سرعة انطلاق الرصاصة ، وهى الطريقة المبنية على اساس امكانية تعيين عدد دورات القرص الدوار بصورة مضبوطة . وتتلخص هذه الطريقة فى تركيب قرص من الورق المقوى على عمود ادارة (محور) سريع الدوران ، ويجب ان يحتوى القرص على قطاعات سوداء اللون ، وتكون حافاته محنية ، بحيث يصبح القرص على شكل علبة اسطوانية مفتوحة (شكل ١٤٥) . ان الرامى يطلق الرصاصة على امتداد قطر العلبة الاسطوانية ، ويثقب جدارها فى نقطتين . فلو كانت العلبة ثابتة ، لوقع الثقبان على طرفى قطر واحد فقط . ولكن العلبة كانت تدور ، وفى الوقت الذى استغرقته الرصاصة فى طيرانها من طرف الى آخر ، دارت العلبة قليلا ، الامر الذى جعل الرصاصة تثقب الجدار فى النقطة حـ ، بدلا من ثقبه فى النقطة ب . وبمعرفة عدد دورات العلبة وقطرها ، يمكننا استنادا الى طول القوس ب حـ ، حساب سرعة انطلاق الرصاصة . وهذه عبارة عن مسألة هندسية بسيطة ، يستطيع حلها كل من له بعض الالمام فى الرياضيات .

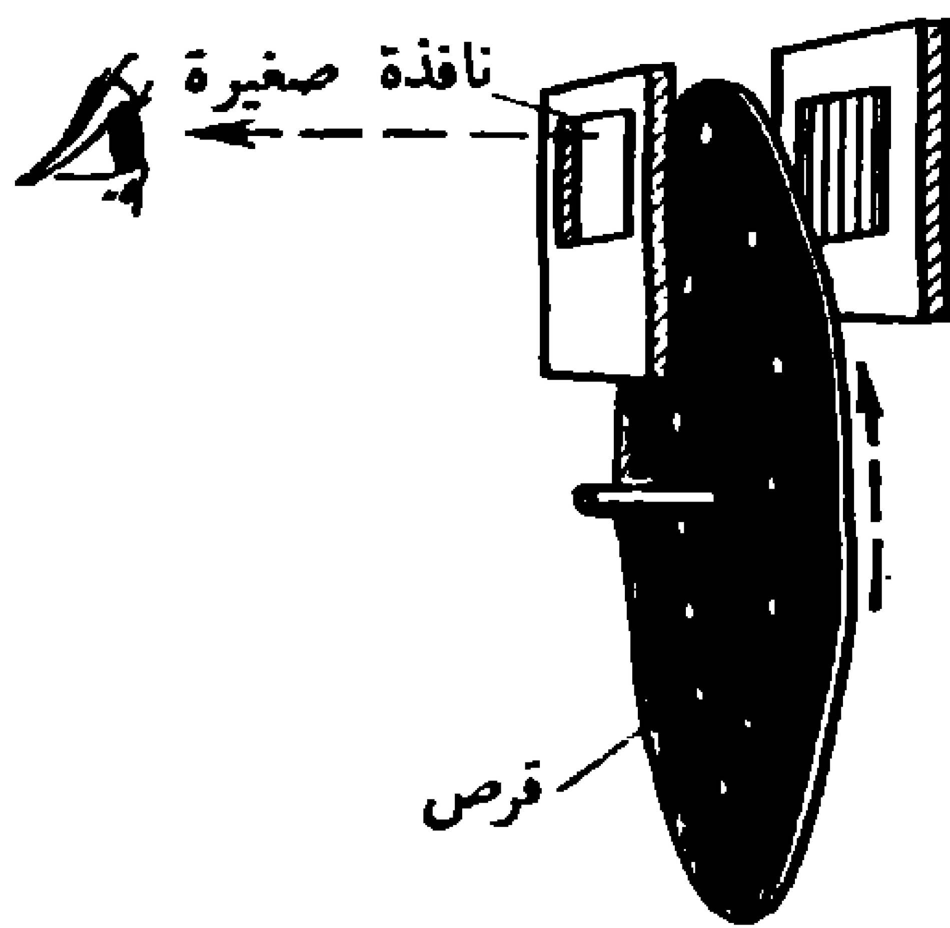
---

* ان المبدأ الذى بحثناه الآن ، هو المبدأ الاساسى لصناعة الاستروبوسكوبات، التى تستخدم عمليا لقياس تردد العمليات السريعة التعاقب . ان القياسات التى تعطيها الاستروبوسكوبات، دقيقة الى حد بعيد للغاية (مثلا ، تصل دقة القياس بواسطة الاستروبوسكوب الالكترونى ، الى حد ٠,٠٠١ ٪).

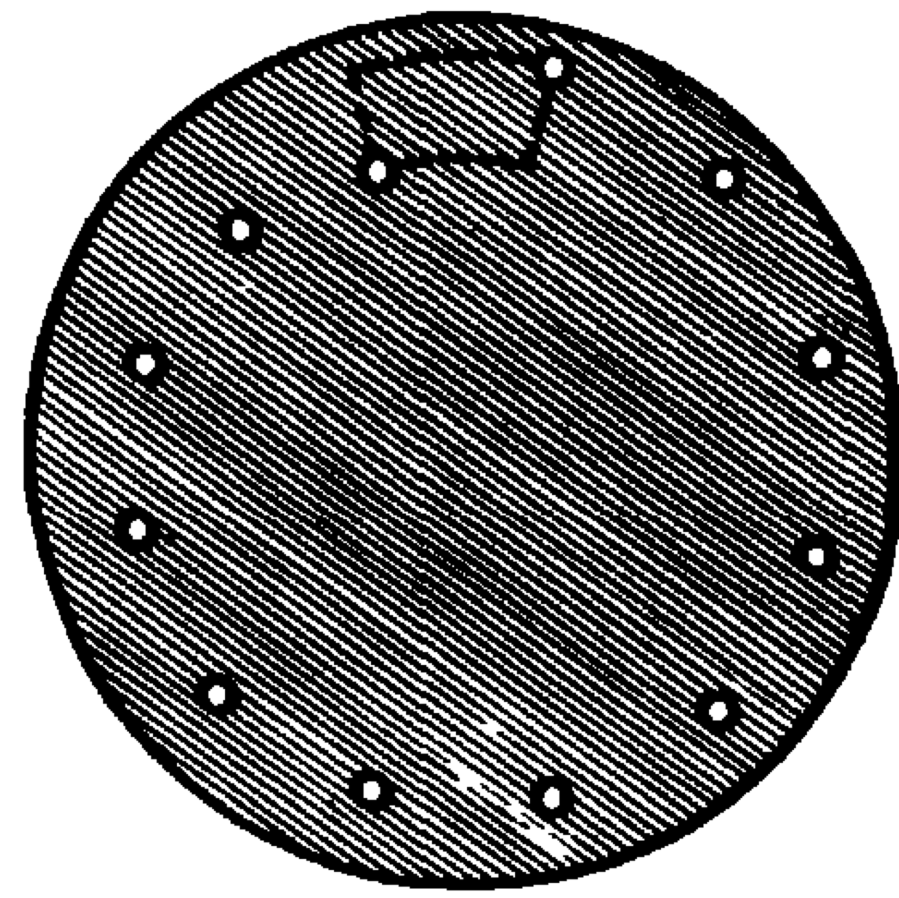
قرص نيبكوف

ان ما يسمى بقرص نيبكوف ، الذى استخدم فى اجهزة التلفزيون الاولية ، كان بمثابة حالة رائعة من حالات الاستفادة من خداع البصر للاغراض الصناعية . ويرى القارئ فى الشكل ١٤٦ ، قرصا صلبا ، يوجد عند حوافه ١٢ ثقبا صغيرا ، قطر كل منها يساوى ٢ مم . وهذه الثقوب موزعة بصورة منتظمة على خط حلزونى ، وكل ثقب اقرب الى المركز من الثقب المجاور ، بمسافة تساوى ٢ مم . والان نركب هذا القرص على محور ما ، ونضع امامه نافذة صغيرة ، وخلفه صورة بنفس حجم النافذة (شكل ١٤٧) . واذا ادرنا القرص بسرعة ، فسوف نرى ظاهرة غير متوقعة ، وهى ان الصورة المحجوبة وراء القرص غير المتحرك ، تظهر بوضوح من خلال النافذة الامامية ، وذلك عند دوران القرص بسرعة . واذا قللنا من سرعة الدوران ، تصبح الصورة غامضة الملامح . اما اذا اوقفنا القرص عن الدوران ، فسوف تختفى الصورة تماما ، ولا يبقى منها الا ما يمكن رؤيته من خلال الثقب الصغير ، الذى يبلغ قطره ٢ مم .

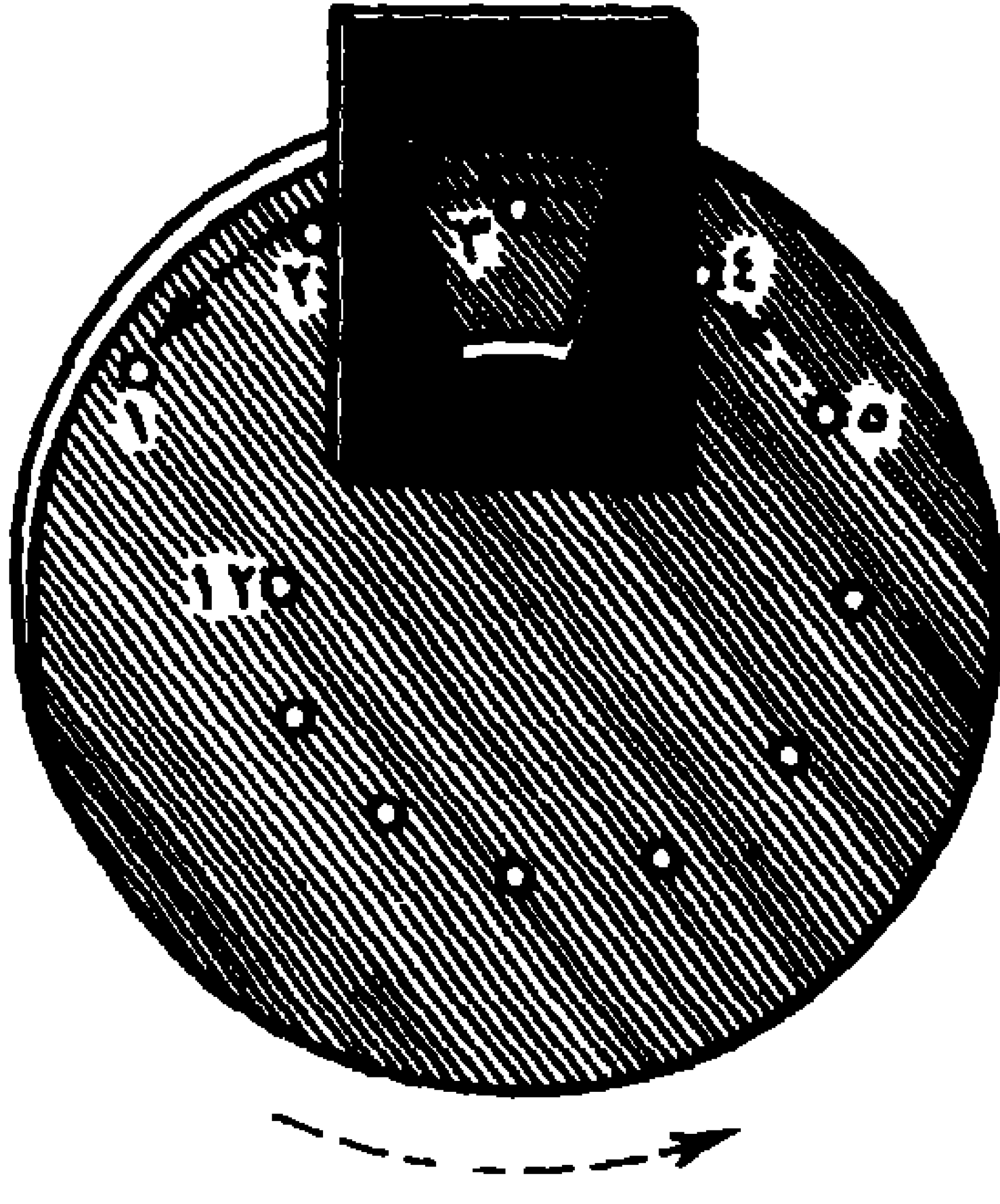
والآن لنبحث سر التأثير المحير لهذا القرص . وسوف نبدأ بتدوير القرص ببطء ، ونتتبع مرور كل ثقب من الثقوب بالتعاقب ، من وراء النافذة الصغيرة . ان ابعد



شكل ١٤٧


شكل ١٤٦

ثقب عن المركز ، يمر بقرب الحافة العليا للنافذة . فاذا كانت الحركة سريعة ، فسوف ترينا النافذة ، ذلك الشريط الكامل من الصورة ، الملاصق لحافتها العليا . والثقب الثانى ، الواقع تحت الثقب الاول ، سيفتح امام النافذة ــ عند الدوران السريع ــ مجالا يرينا الشريط الثانى من الصورة ، وهو الشريط المتاخم للشريط الاول (شكل ١٤٨) . والثقب الثالث سيجعلنا نرى الشريط الثالث ، من الصورة ، وهلم جرا . وعند حركة القرص الدورانية السريعة ، تصبح الصورة ــ بفضل ذلك ــ واضحة المعالم برمتها ، وكأن ذلك الجزء من القرص ، الواقع امام النافذة الصغيرة ، قد اقتطع منه ، بحيث ظهرت الصورة واضحة تماما



شكل ١٤٨

ويستطيع القارئ بسهولة ، ان يقوم باعداد قرص نيبكوف بنفسه . وللحصول على الحركة الدورانية السريعة ، يمكن استخدام خيط عادى ، وذلك بلفه على محور القرص . ولكن من الافضل بطبيعة الحال ، استخدام محرك كهربائى .

لماذا خلق الارنب احول ؟

يعتبر الانسان من المخلوقات القليلة ، التى تتمتع بعينين يمكنهما النظر فى آن واحد الى اى جسم من الاجسام . ان مجال الابصار الخاص بالعين اليمنى ، لا يختلف الا قليلا عن مجال الابصار الخاص بالعين اليسرى .

ان معظم الحيوانات تنظر بكل عين على حدة . والاشياء التى تراها ، لا تمتاز بنفس الصورة المجسمة ، التى اعتدنا ان نراها باعيننا ، غير ان مجال ابصارها ، اوسع بكثير من مجال ابصارنا .

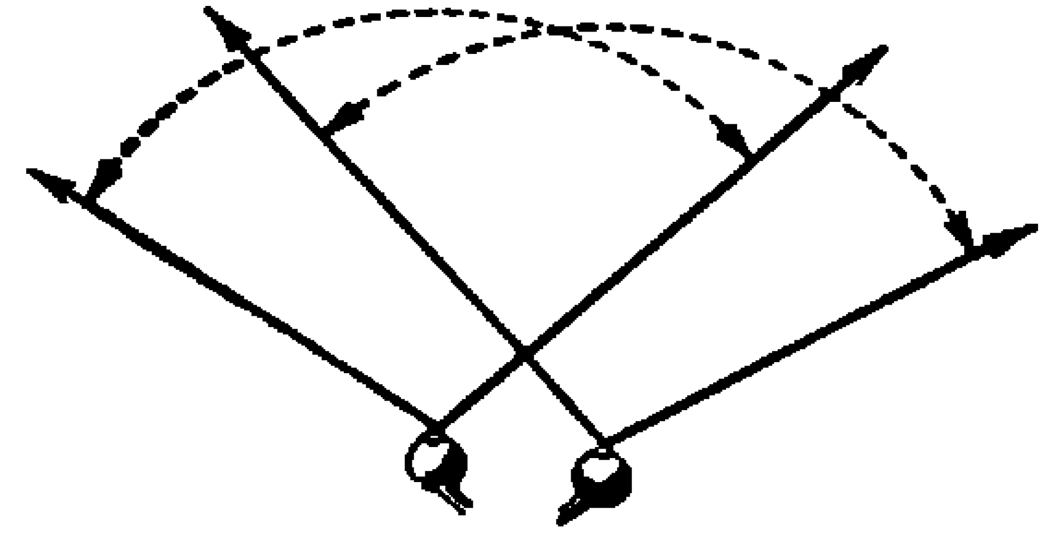
ويمثل الشكل ١٤٩ ، مجال الابصار عند الانسان . ان كل عين تستطيع الرؤية — فى الاتجاه الافقى — فى حدود الزاوية ١٢٠ ، وكلتا الزاويتين ، تغطيان بعضهما البعض تقريبا (على فرض عدم تحرك العينين) .

ولنقارن هذا الشكل مع الشكل ١٥٠ ، الذى يمثل مجال الابصار عند الارنب . ان الارنب ، بدون ان يدير رأسه ، يرى بعينيه المتباعدتين ، ليس كل ما يقع امامه من اشياء فحسب ، بل وما يقع منها وراءه . ان كلا مجالى ابصار عينيه يندمجان مع بعضهما من الامام ومن الخلف ! والآن اصبح مفهوما لدى القارئ ، لماذا يصعب على الانسان الاقتراب من الارنب خفية ، دون ان يجعله ينفر منه . غير ان الارنب ، كما يتضح من الشكل ، لا يرى مطلقا كل ما يقع بقرب وجهه مباشرة . ولكى يرى الاجسام القريبة جدا ، فانه يدير رأسه الى احد الجوانب .

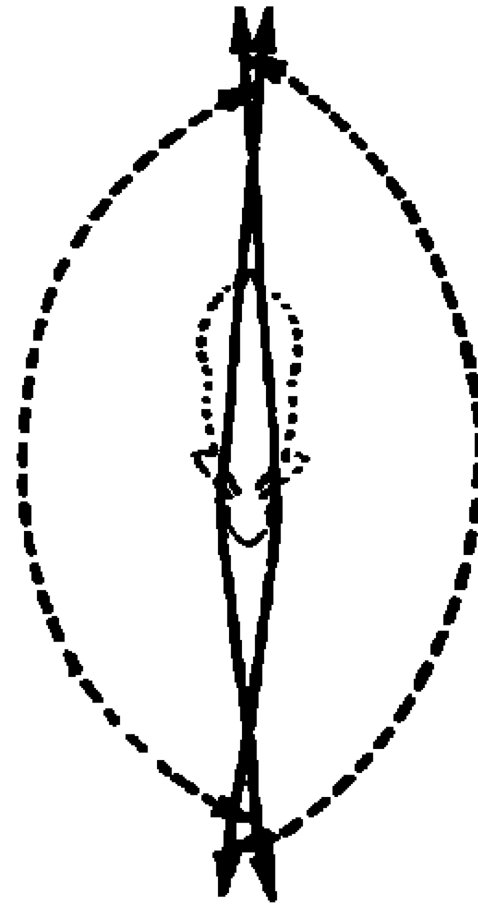
ان جميع الحيوانات ذات الحوافر والحيوانات المجترة بدون استثناء — وذلك على وجه التقريب — تتمتع بخاصية «الابصار الشامل» . ويمثل الشكل ١٥١ ترتيب مجالى الابصار عند الحصان . انهما لا يتشابهان من الوراء ، ولكن اذا ادار الحصان رأسه قليلا ، فانه يستطيع رؤية الاجسام الواقعة وراءه . ولكن الاجسام المنظورة فى هذه الحالة ، لا تكون واضحة جدا ، غير ان الحصان ينتبه الى اقل حركة تحدث وراءه ، ضمن دائرة واسعة النطاق . ان الوحوش الضارية ، التى تكون البادئة فى الهجوم عادة ، محرومة من هذه الخاصية ، التى تمكنها من الرؤية الشاملة لما حولها . غير انها تتمتع بابصار — بالعينين — يساعدها على تقدير مسافة القفزة ، بكل دقة .

لماذا تبدو القطط رمادية اللون فى الظلام ؟

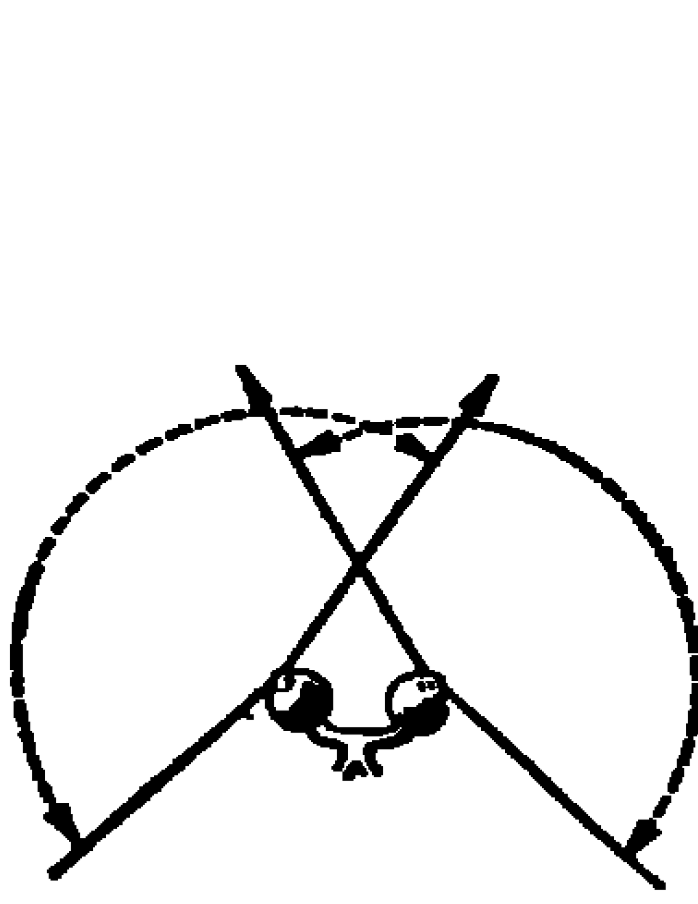
قد يجيب الفيزيائى على ذلك بقوله : «ان جميع القطط تبدو سوداء اللون فى الظلام ، لانه عند عدم وجود اى ضوء ، تبدو كافة الاشياء على الاطلاق ، سوداء اللون» . الا ان هذا لا يعنى وجود ظلام دامس ، بل ظلام بالمعنى الدارج ، اى وجود اضاءة ضعيفة للغاية . ولكن المثل يقول بالضبط : ان جميع القطط تبدو فى الليل ،



شكل ١٤٩ : مجال ابصار عينى الانسان .



شكل ١٥٠ : مجال ابصار عينى الارنب .



شكل ١٥١ : مجال ابصار عينى الحصان .

رمادية اللون . ان المعنى الابتدائى غير المجازى لهذا المثل ، يتلخص فى ان عين الانسان ، عند وجود اضاءة ضعيفة ، تعجز عن تمييز الالوان ، بحيث تبدو امامها الاشياء ، وكأنها رمادية اللون .

هل هذا صحيح يا ترى ؟ وهل يصح القول بان العلم الاحمر والاوراق الخضراء ، تبدو فى الظلام الخفيف ، بلون رمادى واحد ؟

يمكننا بسهولة ان نقتنع بصحة هذا القول . ان كل من لاحظ الوان الاجسام عند الغسق ، لا بد وانه قد ادرك بان الفروق بين الالوان تختفى ، وتبدو الاجسام جميعها ، وكأنها مصبوغة باللون الرمادى الداكن ، بدرجات متفاوتة ، بما فى ذلك اللحاف الاحمر وورق الجدران الازرق والازهار البنفسجية والاوراق الخضراء .

ونقرأ الفقرة التالية ، الواردة فى قصة « رسالة » ، للكاتب الروسى الشهير تشيخوف : « ولم تصل اشعة الشمس الى هذا المكان ، من خلال الستائر المسدلة ، وقد كان الجو معتما هنا ، بحيث بدت جميع الازهار الموجودة فى الباقة ، بلون واحد فقط » .

ان التجارب الفيزيائية الدقيقة ، تثبت صحة هذه الملاحظة تماما . واذا اضأنا السطوح الملونة ، بضوء ابيض خافت (او اضأنا السطوح البيضاء ، بضوء ملون خافت) ، مع تقوية الاضاءة تدريجيا ، فان العين سترى فى البداية مجرد لون رمادى ،

بدون اى تدرج معين فى ذلك اللون . وعندما تصبح الاضاءة اقوى ، الى حد ما ، ترى العين فى هذه الحالة ، بان ذلك السطح ملون . وتسمى درجة الاضاءة هذه ، بـ « المشرف الادنى للاحساس باللون » .

وهكذا نرى بان المعنى الحرفي والصحيح تماما ، لهذا المثل السائد فى كثير من اللغات ، يتلخص فى ان جميع الاجسام تبدو وكأنها رمادية اللون ، عندما تقع تحت « المشرف الادنى للاحساس باللون » . وعندما تكون الاضاءة قوية للغاية ، فان العين تعجز ثانية عن تمييز ظلال الالوان ، حيث تبدو جميع السطوح الملونة ، وكأنها بيضاء بدرجة متساوية .

هل هناك وجود للاشعة المبردة ؟

هناك فكرة منتشرة ، مفادها الاعتقاد بوجود اشعة مبردة ، الى جانب الاشعة المدفئة . وقد استشهد اصحاب هذه الفكرة ، بحقيقة تؤكد ما يدعونه ، وهى ان قطعة الجليد تبعث البرودة فيما حولها ، تماما مثلما يبعث الموقد الحرارة فيما حوله . ألا يؤكد ذلك ، بان الاشعة المبردة تنبعث من قطعة الجليد ، كما تنبعث الاشعة المدفئة من الموقد ؟

من الخطأ ان يدور نقاش بمثل هذا الموضوع ، اذ لا وجود للاشعة المبردة . ان الاشياء القريبة من الجليد ، تصبح باردة ليس نتيجة لتأثير « الاشعة المبردة » ، بل لان الاجسام الدافئة ، تفقد نتيجة للاشعاع الحرارى ، كمية من الحرارة ، اكبر من الكمية التى تصلها . ولما كانت كمية الحرارة الخارجة من الجسم ، اكبر من كمية الحرارة الداخلة اليه ، فان ذلك الجسم يجب ان يبرد .

وهناك تجربة فعالة ، يمكنها كذلك ان تحثنا على التفكير بوجود الاشعة المبردة . وتتلخص التجربة فيما يلى : توضع مرآتان مقعرتان كبيرتان ، على جدارين متقابلين ، من جدران احدى القاعات الطويلة . فاذا وضعنا بقرب احدى المرآتين ، فى المحل الذى يسمى بـ « البؤرة » ، مصدرا قويا للحرارة ، فان الاشعة الحرارية المنبعثة عنه ،

تنعكس فى هذه المرآة ، وتذهب الى المرآة الثانية ، حيث تنعكس مرة ثانية ، وتتركز فى بؤرتها . ولو وضعنا قطعة سوداء من الورق فى هذا المكان ، لرأيناها تحترق فى الحال . وهذا مثال واضح للعين ، يؤكد وجود الاشعة المدفئة . ولكن اذا وضعنا عوضا عن مصدر الحرارة ، الموجود فى بؤرة المرآة الاولى ، قطعة من الجليد ، سنرى بان الترمومتر الموجود فى بؤرة المرآة الثانية ، سيشير الى وجود انخفاض فى درجة حرارة ذلك المكان . ولكن هل هذا يعنى ان قطعة الجليد قد بعثت اشعة باردة ، انعكست على المراة ، وتركزت فى بصلة الترمومتر ؟

بالطبع لا ، فى هذه الحالة يمكن تفسير هذه الظاهرة ، بدون حشر الاشعة الباردة المبهمة ، فى هذا الموضوع . ان بصلة الترمومتر ، تزود قطعة الجليد — عن طريق الاشعاع — بكمية من الحرارة ، اكبر من الكمية التى تأخذها من تلك القطعة ، ولذا يبرد الزئبق الموجود فى داخلها . وهكذا نرى بانه فى هذه الحالة ايضا ، لا يوجد اى سبب يجعلنا نعتقد بوجود الاشعة المبردة . وفى الحقيقة ، لا وجود للاشعة المبردة فى الطبيعة مطلقا ، لان كافة انواع الاشعة ، تزود الجسم الذى يمتصها ، بالطاقة . وعلى العكس من ذلك ، فان الاجسام التى تبعث الاشعة ، تبرد بالذات .

الفصل العاشر | الصوت والحركة الموجية

الصوت والموجات اللاسلكية

ان الصوت ينتشر بسرعة تقل عن سرعة انتشار الضوء ، بمليون مرة تقريبا ؛ وبما ان سرعة الموجات اللاسلكية ، تنطبق مع سرعة انتشار الذبذبات الضوئية ، لذا فان سرعة الصوت تقل عن سرعة الاشارة اللاسلكية ، بمليون مرة . ونخرج من ذلك بنتيجة مدهشة ، تتضح حقيقتها بالمسألة التالية :

من الذى يسمع اول نغم يعزفه الموسيقى على البيانو ؛ أهو المستمع الجالس فى قاعة الموسيقى على بعد ١٠ م من البيانو ، ام هو المستمع الذى يصغى الى الانغام التى يعزفها الموسيقى ، عن طريق جهاز الراديو الموجود فى شقته الواقعة على بعد ١٠٠ كم من قاعة الموسيقى ؟

من المدهش حقا ، ان نعرف بان صاحب جهاز الراديو ، يسمع النغم قبلما يسمعه الشخص الجالس فى قاعة الموسيقى ، على الرغم من ان بعد الشخص الاول عن البيانو ، اكثر من بعد الشخص الثانى عنه بـ ١٠٠٠٠ مرة . وفى الواقع ، فان الموجات اللاسلكية ، تقطع مسافة ١٠٠ كم ، فى زمن يساوى :

$$\frac{١٠٠}{٣٠٠٠٠٠} = \frac{١}{٣٠٠٠}$$ ثانية .

اما الصوت فيقطع مسافة ١٠ م فى زمن يساوى :

$$\frac{١٠}{٣٤٠} = \frac{١}{٣٤}$$ ثانية .

ويتضح من هنا ، ان بث الصوت بواسطة الراديو ، يحتاج الى زمن يقل بمئة مرة ، عن الزمن اللازم لبث الصوت عبر الهواء .

الصوت والرصاصة

عندما طار ركاب قذيفة جول فيرن الى القمر ، تملكتهم الحيرة لعدم قذفهم من فوهته . وكان من الطبيعي ان يحدث ذلك دون سواه . فمهما كان صوت اطلاقة المدفع داويا ، فلن تبلغ سرعته (كأى صوت آخر ينتقل فى الهواء ، بصورة عامة) ، سوى ٣٤٠ م/ثانية. اما القذيفة فقد انطلقت بسرعة ١١٠٠٠ م/ثانية . ومن هنا يتضح سبب عدم وصول صوت القذيفة الى آذان الركاب ، حيث ان القذيفة كانت اسرع من الصوت * .

ولكن ماذا يحدث للقذائف والرصاصات الحقيقية ؛ هل تنطلق بسرعة تفوق سرعة الصوت ، ام على العكس من ذلك ، يكون الصوت اسرع منها ، حيث يسبقها ليحذر الضحية من خطرها المميت ؟

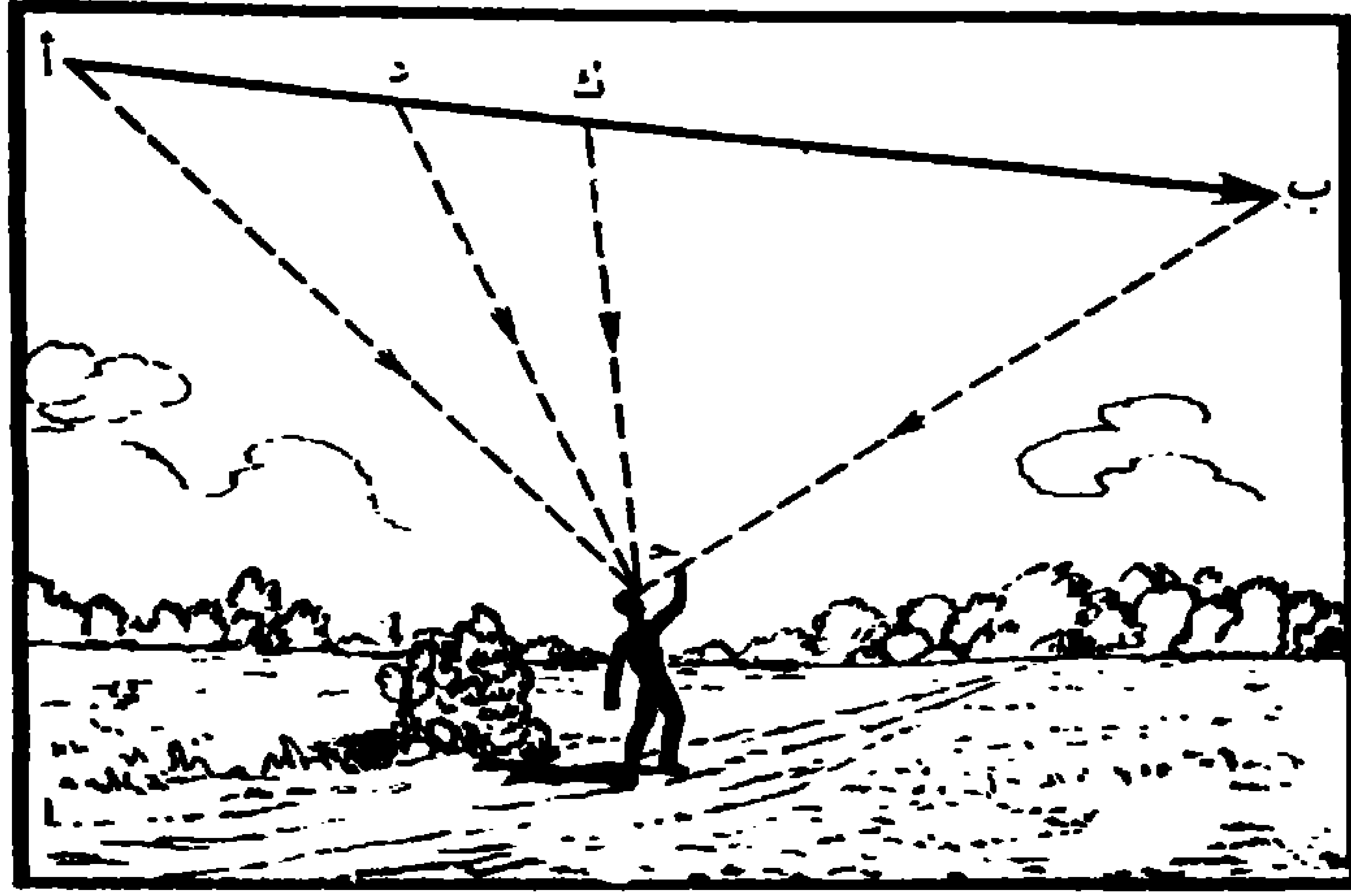
ان البندقية الحديثة ، تكسب الرصاصة عند انطلاقها ، سرعة تزيد على سرعة الصوت في الهواء ، بثلاث مرات تقريبا – حوالى ٩٠٠ م/ثانية (ان سرعة الصوت عند درجة الصفر المئوية ، تساوى ٣٣٢م/ ثانية) . وفي الحقيقة ، ان الصوت ينتشر بسرعة منتظمة . اما الرصاصة ، فتطير وتقلل من سرعتها بالتدريج . ولكن الرصاصة تقطع معظم طريقها المقرر ، وهى منطلقة بسرعة تفوق سرعة الصوت . والنتيجة المباشرة التى نستخلصها من ذلك ، هى اننا اذا سمعنا صوت الرماية او ازيز الرصاصة ، فيمكننا ان نطمئن . ذلك لان هذه الرصاصة قد اخطأتنا . ان الرصاصة تسبق الصوت الناجم عن رمايتها ، فاذا اصابت الرصاصة ضحيتها وقضت عليها ، فان هذه الضحية تكون قد فارقت الحياة ، قبل ان تسمع صوت الرصاصة المنطلقة .

الانفجار الموهوم

ان سباق السرعة بين الاجسام المنطلقة ، والصوت الناجم عن انطلاقها ، يجعلنا احيانا ندلى بآراء خاطئة ، لا تتفق بتاتا مع الصورة الحقيقية للظاهرة التى تواجهنا .

---

* ان سرعة الكثير من الطائرات الحديثة ، تفوق سرعة الصوت الى حد كبير .



شكل ١٥٢ : الانفجار الموهوم للشهاب المتفجر .

واطرف مثال على ذلك ، هى الكرة النارية (او قذيفة المدفع) ، المنطلقة الى علو شاهق فوق رؤوسنا . ان النيازك الكبيرة (الشهب المتفجرة) ، التى تخترق جو الكرة الارضية ، قادمة من الفضاء الكونى ، تكون لها سرعة هائلة . وبالرغم من الانخفاض الذى طرأ على هذه السرعة ، نتيجة لمقاومة الهواء ، فانها مع ذلك تزيد على سرعة الصوت بعشرات المرات .

عند اختراق الشهب المتفجرة للهواء ، فانها كثيرا ما تحدث صوتا ، يشبه صوت الرعد . ليتصور القارئ انه موجود فى النقطة حـ (شكل ١٥٢) ، وفوقه ينطلق شهاب متفجر باتجاه الخط أ ب . ان الصوت الناتج عن الشهاب فى النقطة أ ، لا يصل الى القارئ (الموجود فى النقطة حـ) ، الا بعد ان ينتقل الشهاب الى النقطة ب . ولما كانت سرعة انطلاق الشهاب ، اكبر من سرعة الصوت بكثير ، فانه يستطيع الوصول الى نقطة معينة د ، ويبعث منها صوته ، الذى يصل الى اذن القارئ ، قبل ان يصلها الصوت الذى بعثه من النقطة أ . ولهذا ، فان القارئ سيسمع فى البداية ، الصوت المنبعث من النقطة د ، وبعده يسمع الصوت المنبعث من النقطة أ . وبما ان الصوت المنبعث من النقطة ب ، سيصل الى اذن القارئ ، بعد وصول الصوت المنبعث من النقطة

د كذلك ، اذن ، يجب ان توجد فى محل ما فوق رأس القارئ ، نقطة معينة ك ، ينبعث منها صوت الشهاب عند وصوله اليها ، قبل انبعاثه من اية نقطة اخرى . ويستطيع هواة علم الرياضيات ، ان يحسبوا ويعينوا موقع هذه النقطة اذا كانت العلاقة المعينة بين سرعة الشهاب وسرعة الصوت ، معروفة لديهم من قبل .

ونقدم الى القراء الان ، نتيجة الحساب : ان الصوت الذى سنسمعه ، سوف لا يكون مطابقا للشيء الذى سنراه . ان الشهاب سيبدو للعين لاول مرة ، فى النقطة ا ، وينطلق منها على امتداد الخط أ ب . ولكن بالنسبة للاذن ، سيظهر الشهاب لاول مرة ، فى نقطة ما فوق رؤوسنا ، هى النقطة ك ، ثم نسمع صوتين فى نفس الوقت ، يضمحلان فى الاتجاهين المتعاكسين ، من النقطة ك الى النقطة أ ، ومن النقطة ك الى النقطة ب . وبعبارة اخرى ، فاننا سنسمع صوتا ، يوحى لنا بان الشهاب قد انفلق الى شطرين ، وانطلق كل منهما فى الاتجاه المعاكس . ولكن فى الحقيقة ، لم يحدث اى انفجار (انفلاق) . وهذا يدل على مدى خداع الانطباعات السمعية ، الذى يتعرض له الانسان ! ومن المحتمل ان يكون العديد من انفجارات الشهب ، التى اقر بوقوعها شهود العيان ، عبارة عن خدعة سمعية من النوع المذكور اعلاه بالذات .

اذا قلت سرعة الصوت . . .

اذا انتشر الصوت فى الهواء ، بسرعة تقل بكثير عن سرعته المعروفة ، وهى ٣٤٠ م/ثانية ، لزاد عدد الانطباعات السمعية المخادعة ، بمقدار كبير جدا .

لنتصور مثلا ، بان الصوت يقطع فى الثانية الواحدة ٣٤٠ مم ، بدلا من ٣٤٠ م ، اى يتحرك ابطأ من الشخص الماشي . ولنتصور باننا نجلس على مقاعد الغرفة ، ونستمع الى حديث صديق ما ، تعود على الكلام وهو يذرع الغرفة ذهابا وايابا . ان تحرك الصديق على هذا الشكل ، لا يؤثر فى سمعنا بتاتا ، فى الظروف العادية . ولكن ، عندما تقل سرعة الصوت الى ذلك الحد ، فاننا لا نفهم تماما حديث هذا الصديق . وسبب ذلك هو ان الاصوات التى اصدرها فى بداية حديثه ، ستلحق بالاصوات

الجديدة وتختلط بها ، الامر الذى يؤدى الى حدوث اضطراب فى الاصوات ، لا يفهم منه اى شىء .

وبهذه المناسبة ، ففى اللحظات التى يقترب فيها ذلك الصديق من احد الاشخاص الجالسين فى الغرفة ، نرى بان كلماته تصل الى ذلك الشخص بترتيب عكسى . وذلك بان تصل فى البداية الاصوات التى اصدرها توا ، وبعد ذلك تصل الاصوات التى اصدرها قبل ذلك بالتتابع ، وهلم جرا . وسبب ذلك يعود الى ان الشخص المتكلم ، يسبق الاصوات الصادرة عنه ، ويبقى فى مقدمتها طوال الوقت ، مع استمراره فى اصدار اصوات جديدة .

اطول حديث على الاطلاق

واذا كان القارئ يظن بان سرعة الصوت فى الهواء — ثلث كيلومتر فى الثانية — هى سرعة كافية دائما ، فسوف يغير فكرته الآن .

ولنتصور بان الخط التلفونى الكهربائى الواصل بين مدينتى موسكو ولينينجراد ، قد استبدل بانبوب تخاطب عادى ، يشبه التلفونات التى كانت تصل فى السابق ، بين الاقسام المختلفة للمتاجر الكبيرة ، او التى استعملت فى البواخر ، للاتصال بغرفة المحركات . ولنتصور بان القارئ يقف عند طرف الانبوب — الذى يبلغ طوله ٦٥٠ كم — الواقع فى لينينجراد ، وصديقه يقف عند الطرف الثانى ، الواقع فى موسكو . وليسأل القارئ صديقه سؤالا معينا ، وينتظر الجواب . وتمر خمس دقائق ثم عشرة وخمس عشرة وخمسون دقيقة ، ولم يأت الجواب بعد . ويبدأ القارئ بالقلق والتفكير بان شيئا ما قد حدث لصديقه . ولكن لا داعى لهذا القلق والتخوف ، لان السؤال لم يصل الى موسكو بعد ، وهو الان فى منتصف الطريق فقط . وسوف تمر ربع ساعة اخرى من الوقت ، قبل ان يستطيع صديقك الموجود فى موسكو ، سماع السؤال والاجابة عليه . ولكن جوابه ايضا ، سيستغرق وقتا لا يقل عن نصف ساعة ، ليقطع

المسافة من موسكو الى لينينجراد . وهكذا ، سوف لا يسمع القارئ جواب صديقه ، الا بعد مرور ساعة كاملة .

ويمكن التأكد من الحساب كما يلي : ان المسافة بين لينينجراد وموسكو ، هي ٦٥٠ كم ؛ ويقطع الصوت $\frac{١}{٣}$ كم في الثانية والحدة ؛ وهذا يعني بان الصوت يقطع المسافة بين المدينتين في مدة تزيد على ١٩٥٠ ثانية ، او في مدة لا تزيد على ٣٢ دقيقة . وفي مثل هذه الظروف ، حتى لو تكلمنا لمدة يوم كامل من الصباح الى المساء ، فاننا بالكاد نستطيع ان نتبادل اكثر من عشر جمل * .

باسرع طريق

لقد مرت على البشرية حقبة من الزمن ، اعتبر فيها حتى هذا الطريق لنقل الاخبار ، بمثابة طريق سريع جدا . فقبل مئة عام ، لم يكن احد من الناس ، يحلم بالتلغراف والتلفون الكهربائيين، وكان نقل الاخبار الى مسافة ٦٥٠ كم ، في ظرف ساعات معدودة ، سيعتبر نموذجا للسرعة في نقل الاخبار . ويروى انه اثناء مراسيم تتويج القيصر الروسي بولص الاول ، نقل خبر بدء المراسيم ، التي جرت في موسكو ، الى العاصمة الشمالية بتربورج (لينينجراد حاليا) ، بالطريقة التالية : صف الجنود على طول الطريق الممتد بين موسكو وبتربورج ، بحيث كانت المسافة بين جندي وآخر ،تساوي ٢٠٠ م. وعندما دق جرس الكاتدرائية اولى دقاته ، ايذانا ببدء المراسيم ، اطلق اقرب جندي الى الجرس ، طلقة في الهواء . وحالما سمع الجندي المجاور له صوت الطلقة ، اطلق بدوره طلقة في الهواء ، وتبعه الجندي الثالث والرابع . . وهكذا ، حتى وصل النبأ الى بتربورج ، خلال ثلاث ساعات فقط . وبعد مضي ثلاث ساعات

---

* لم يأخذ المؤلف في الاعتبار تضاؤل الذبذبات الصوتية مع بعد المسافة ، الامر الذي يعرقل القيام بمثل هذه المكالمة التلفونية في الواقع ، وذلك لان الشخص الموجود عند الطرف الثاني للانبوب ، سوف لا يسمع الحديث – هيئة التحرير .

على اولى دقات جرس موسكو ، اجابت مدافع قلعة بيتروبافلوفسكى ، الواقعة على بعد ٦٥٠ كم من موسكو .

ولو امكن سماع دقات جرس كاتدرائية موسكو ، فى مدينة لينينجراد ، بصورة مباشرة ، لوصل هذا الصوت ، كما نعلم ، الى العاصمة الشمالية ، متاخرا بمقدار نصف ساعة فقط . وهذا يعنى ان مدة ساعتين ونصف من ضمن الثلاث ساعات ، التى استغرقها وصول النبأ ، قد صرفت على عملية تلقى الجنود لذلك النبأ ، وفترة استعدادهم لاطلاق الرصاصة فى الهواء . ومهما كانت هذه الفترة الزمنية ضئيلة ، فعندما تتضاعف بمقدار الف مرة ، تتجمع لدينا ساعتان ونصف الساعة .

وقد كان التلغراف البصرى فى القرون الماضية ، يعمل بطريقة مشابهة ، حيث كان ينقل الاشارات الضوئية الى اقرب محطة ، وكانت هذه المحطة بدورها ، تقوم بنقل تلك الاشارات الى محطة اخرى ، وهلم جرا .

نقل الانباء بواسطة الطبول

ان نقل الانباء بواسطة الاشارات الصوتية ، كان ولا يزال منتشرا بين السكان البدائيين (القبليين) فى القارة الافريقية ، وامريكا الوسطى وبولينيزيا . وتستخدم القبائل البدائية لهذا الغرض ، طبولا خاصة ، يتم بواسطتها نقل الاشارات الصوتية عبر مسافة شاسعة ، حيث ان الاشارة الاصطلاحية المسموعة فى مكان ما ، تتردد فى مكان آخر ، وتنتقل بهذا الشكل الى مسافة ابعد . وهكذا نجد بان السكان القاطنين فى رقعة واسعة من الارض ، يعلمون بذلك النبأ المنقول ، خلال مدة قصيرة (شكل ١٥٣) .



شكل ١٥٣ : احد سكان جزر فيجى يبث خبرا بواسطة قرع الطبل.

وفى اثناء الحرب الاولى بين ايطاليا والحبشة ، اصبحت كافة تنقلات الجيوش الايطالية ،

معروفة لدى النجاشي . وقد اربك هذا الامر ، هيئة الاركان الايطالية ، التي لم تظن بوجود الطبول ، التي تنقل اسرارهم الى العدو .

وفي بداية الحرب الثانية بين ايطاليا والحبشة ، استخدمت الطبول « لاذاعة » امر الاستعداد للنفير العام ، وذلك في العاصمة اديس ابابا . وخلال عدة ساعات ، انتشر النبأ المذكور ، واصبح معروفا لدى سكان ابعد القرى الحبشية النائية .

وقد لوحظت مثل هذه الظاهرة بالذات ، اثناء حرب البوير * مع الانكليز . وبفضل تلك الطبول التي تنقل الانباء ، استطاع الكفيريون ** نشر كافة الانباء الحربية بين سكان كيب لاند ، بسرعة مدهشة ، سبقت الانباء المنقولة رسميا عن طريقة السعاة ، بعدة ايام كاملة . وحسبما جاء في اقوال السياح ، فان نظام الاشارات الصوتية ، عند بعض القبائل الافريقية ، قد اعد بطريقة جيدة ، بحيث يمكن ان نقول عن اصحابها ، بانهم يملكون « تلغرافا » ، اكثر دقة وكمالا من التلغراف البصري ، الذي استخدمه الاوربيون ، قبل اختراع التلغراف الكهربائي .

واليكم ما كتبه حول هذا الموضوع ، احد علماء الآثار في المتحف البريطاني ، ويدعى هاسيلدن ، الذي زار مدينة ابادا ، الواقعة في اواسط نيجيريا . ان قرع الطبول ، المستمر ، كان يسمع في الليل والنهار . وفي صباح احد الايام ، سمع عالم الاثار ، بان الافريقيين يتحدثون عن شئ ما بنشاط وحيوية . وقد اجاب احد عرفاء الجيش ، على تساؤلات ذلك العالم بقوله : « لقد غرقت باخرة ركاب كبيرة ، تحمل مسافرين اوربيين ، وقد لاقى الكثيرون منهم حتفهم » . وكان هذا هو النبأ الذي « اذاعته » الطبول من الساحل . ولم يعر العالم هذا النبأ اى اهتمام . ولكنه تسلم بعد ثلاثة ايام ، برقية متأخرة (نتيجة لانقطاع المواصلات) ، تخبره بغرق باخرة الركاب « لوزيتانيا » . وعندئذ فهم بان الخبر الذي نقله الافريقيون كان صحيحا ، وقد نقل عن طريق لغة

---

* سكان جنوب افريقيا ، المنتمون الى اصل هولندي — المترجم .

** اعضاء في مجموعة الشعوب الناطقة بلغة « البانتو » في جنوب افريقيا — المترجم .

الطبول ، عبر جميع الاراضى الافريقية ، الممتدة من القاهرة الى ابادا . ومما يزيد الامر غرابة ، هو ان القبائل التى تناقلت النبأ فيما بينها ، تتكلم بلغات او لهجات مختلفة تماما ، وكانت بعض هذه القبائل فى حالة حرب مع البعض الآخر .

الغيوم الصوتية والصدى الهوائى

ان الصوت يمكن ان ينعكس ، لا على الحواجز الصلبة فحسب ، بل وعلى بعض الاشياء الرقيقة الناعمة ، مثل الغيوم . وعلاوة على ذلك ، فحتى الهواء الرقيق تماما ، يمكن ان يعكس الموجات الصوتية ، عند توفر بعض الظروف المعينة — وخاصة عندما يختلف ، لسبب من الاسباب ، عن كتلة الهواء الباقية ، من حيث قابليته لتوصيل الصوت . وتحدث فى هذه الحالة ، ظاهرة شبيهة بما يسمى فى علم البصريات بـ « الانعكاس الكلى » . ان الصوت ينعكس على حاجز غير مرئى ، ونسمع صدى محيرا ، آتيا من جهة غير معلومة .

وقد اكتشف العالم « تندال » صدفة ، هذه الحقيقة المدهشة ، عندما قام باجراء تجارب على الاشارات الصوتية ، عند ساحل البحر . ويكتب العالم بهذا الصدد ، ما يلى : « لقد تكون الصدى من انعكاس الصوت ، على « سطح » الهواء الشفاف تماما . وقد وصلنا الصدى ، بطريقة سحرية ، من غيوم صوتية غير مرئية » .

وقد اطلق الفيزيائى الانكليزى المشهور ، اسم الغيوم الصوتية ، على بعض طبقات الهواء الشفاف ، التى تجبر الصوت على الانعكاس ، واحداث « صدى من الهواء » . ونقدم فيما يلى ، ما كتبه العالم المذكور ، بهذا الصدد :

« ان الغيوم الصوتية ، تسبح فى الهواء باستمرار . وليس لهذه الغيوم اية علاقة مطلقا ، بالغيوم العادية او بالضباب او بالسديم . ويمكن ان يكون اصفى جو ، مليئا بهذه الغيوم . وبهذا الشكل يمكن ان تتكون الاصداء الهوائية (الجوية) . وعلى الرغم من الفكرة السائدة ، فان هذه الاصداء يمكن ان تحدث حتى عندما يكون الجو صافيا جدا . وقد ثبت وجود مثل هذه الاصداء الهوائية ، بناء على نتائج الملاحظات

والتجارب . ويمكن ان تنتج هذه الاصداء ، عن تيارات الهواء ، المتفاوتة التسخين ، او التى تحتوى على كمية مختلفة من البخار » .

ان وجود الغيوم الصوتية ، غير الشفافة بالنسبة للصوت ، يفسر لنا بعض الظواهر المحيرة ، التى نلاحظها احيانا فى اوقات الحروب . ويقدم لنا العالم الفيزيائى تندال ، المقتطف التالى من مذكرات شاهد عيان ، عن الحرب بين فرنسا وبروسيا فى عام ١٨٧١ :

« لقد كان صباح اليوم السادس من هذا الشهر ، على العكس تماما من صباح امس . ان درجة الحرارة امس ، كانت منخفضة جدا ، بحيث نفذ البرد الى العظام ، مع وجود ضباب ، لم يسمح لنا بالرؤية الى ابعد من نصف ميل . اما صباح اليوم السادس من الشهر ، فقد كان وضاء ومشرقا ودافئا . وكان الهواء امس مليئا بالاصوات . اما اليوم ، فيسود الهدوء تماما ، وكأنه لا وجود للحرب . ونظر كل منا الى صاحبه بدهشة . يا ترى هل اختفت باريس بدون ان تترك اثرا ما ، واختفت طوابيها ومدافعها واصوات انفجار قنابلها ؟ وذهبت الى مدينة مون مورانس ، حيث تفتحت امامى المناظر الشاملة الواسعة ، للجهة الشمالية من مدينة باريس . ولكن فى هذا المحل ايضا ، ساد سكون رهيب . وقابلت ثلاثة جنود ، وأخذنا نناقش مع بعضنا حقيقة الامر ، وقد كان هؤلاء الجنود يظنون بان محادثات السلام قد بدأت ، وذلك لعدم سماع صوت اية اطلاقة منذ الصباح الباكر .

ثم واصلت سفرى الى ابعد من ذلك ووصلت الى مدينة هونيس . وهناك علمت بدهشة بالغة ، بان المدفعية الالمانية ، كانت تقصف المواقع الفرنسية قصفا شديدا ، منذ الساعة الثامنة صباحا . وقد بدأ تبادل القصف بين الطرفين ، فى نفس الساعة تقريبا . ولكننا لم نسمع اى صوت فى مدينة مون مورانس ! ان سر هذا الامر كان متعلقا بالهواء . ذلك لان ما فعله اليوم قد اختلف تماما عما قام به امس ولم ينقل الينا اية اشارة او صوت » .

وقد تكرر حدوث مثل هذه الظاهرة، اثناء الحرب الشاملة التى وقعت مى الفترة بين عامى ١٩١٤ — ١٩١٨ .

هناك بعض الناس ، الذين لا يستطيعون سماع بعض الاصوات العالية الطبقة ، مثل صرصرة الصرصور او صأصأة الخنافس . ان هؤلاء الناس غير مصابين بالصمم ، واعضاء السمع عندهم سليمة ، ومع ذلك فانهم لا يسمعون النغمات العالية . وقد اكد العالم تندال بان بعض الناس ، لا يسمع حتى زقزقة العصافير !

وبصورة عامة ، فان اذننا لا تتقبل جميع الذبذبات الصوتية المارة بقربنا ، بلا استثناء . واذا كان الجسم يقوم فى الثانية الواحدة باقل من ١٦ الف ذبذبة ، فاننا لا نسمع صوته . واذا قام بما يزيد على ١٥ ــ ٢٢ الف ذبذبة فى الثانية ، فاننا لا نسمع صوته ايضا . ان الحد الاقصى للمسموعية ، يختلف من شخص الى آخر ، حيث ينخفض بالنسبة لكبار السن الى ٦ آلاف ذبذبة فى الثانية . ولذلك نرى ظاهرة غريبة ، وهى ان الصوت الحاد العالى النغمة ، يكون مسموعا بوضوح من قبل البعض ، وغير مسموع من قبل البعض الاخر .

ويصدر العديد من الحشرات (مثل البعوضة والصرصور) ، اصواتا تناظر نغمتها ٢٠ الف ذبذبة فى الثانية الواحدة ، وهذه النغمة تكون مسموعة من قبل البعض ، وغير مسموعة بالنسبة للبعض الاخر . ان الناس الذين لا يحسون بالنغمات العالية ، يشعرون بهدوء تام ، فى المكان الذى يشعر فيه غيرهم باصوات ضوضائية حادة . ويذكر العالم تندال ، بانه لاحظ ذات مرة ، حالة مماثلة ، عندما كان يتجول مع صديقه فى سويسرا :

« كان المرج من كلا جانبيه مليئا بالحشرات ، التى ملأت سمعى بطنينها الحاد ، بينما لم يسمع صديقى اى شئ من هذا الطنين . ان نغم طنين الحشرات كان يقع خارج حدود سمعه » .

ان صأصأة الخفاش ، تعتبر اخفض من صرصرة الحشرات الحادة ، بمقدار جواب كامل ؛ اى تكون ذبذبات الهواء عند ذلك ، اقل ترددا بمرتين . وهناك بعض

الناس ، الذين تكون حدود مسموعيتهم ، منخفضة اكثر من ذلك ، بحيث يعتبر الخفاش بالنسبة لهم ، حيوانا عديم الصوت . وعلى العكس فان الكلاب ، كما اثبتت تجارب العالم السوفييتي الاكاديمي بافلوف ، تتقبل النغمات التي تصل ذبذبتها الى ٣٨ الف ذبذبة في الثانية ؛ ولكن هذا يعتبر بمثابة مجال « ما فوق السمعيات » .

استخدام الاصوات فوق السمعية في التكنيك

ان الوسائل الفيزيائية والتكنيكية في الوقت الحاضر ، تستطيع خلق « اصوات كتيمة » ، يزيد ترددها بكثير ، على تردد الاصوات التي تكلمنا عنها اعلاه . ويمكن ان يصل عدد الذبذبات في هذه « الاصوات فوق السمعية » الى ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ذبذبة في الثانية الواحدة . ان اقصى تردد امكن الحصول عليه في الوقت الحاضر ، يساوي ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ذبذبة في الثانية .

ان احدى طرق الحصول على الذبذبات فوق السمعية ، مبنية على خاصية تكهرب سطوح الالواح ، المصنوعة بشكل خاص من بلورات الكوارتز ، عند تعرضها للضغط (وتسمى خاصية البلورات هذه ، بالبيزوكهربائية) . اما اذا قمنا بعكس ذلك ، وشحنا سطوح هذه الالواح دوريا ، بشحنة كهربائية ، فانها تنضغط وتتمدد بالتناوب ، وذلك نتيجة لتأثير الشحنات الكهربائية ، اى انها تتذبذب ، ونحصل بذلك على ذبذبات فوق سمعية . وتتم عملية شحن هذه الالواح بالشحنات الكهربائية ، بواسطة مولد خاص من المولدات المستخدمة في هندسة اللاسلكي ، يتم اختيار تردده ، طبقا لما يسمى بفترة التردد الخاصة للوح * .

وبالرغم من اننا لا نسمع الاصوات فوق السمعية ، الا انها تكشف عن وجودها ، بطرق اخرى محسوسة جدا . مثلا ، اذا غمرنا لوحا متذبذبا ، في وعاء يحتوي على زيت ، فسوف نرى بان الذبذبات فوق السمعية تنتشر على سطح الزيت ، مكونة

---

* ان بلورات الكوارتز ، تعتبر من المصادر الغالية والضعيفة القدرة ، لتوليد الاصوات فوق السمعية ، وتستخدم على الاكثر في المختبرات الفيزيائية . وقد نجح المهندسون الاخصائيون ، في استخدام بعض المواد الاصطناعية لهذا الغرض .

حدبة يبلغ ارتفاعها ١٠ سم ، اما قطرات الزيت ، فسوف تقفز الى ارتفاع قدره ٤٠ سم . واذا غمرنا فى وعاء الزيت هذا طرف انبوب زجاجى يبلغ طوله مترا واحدا ، لشعرنا بحرق شديد فى اليد التى تمسك بالطرف الثانى للانبوب ، يترك اثرا على بشرة اليد . واذا جعلنا طرف الانبوب ، الموجود فى حالة اهتزاز ، يلامس احدى الاشجار ، فانه سيحدث ثغرة فيها بواسطة الحرق ، حيث تتحول طاقة الاصوات فوق السمعية الى طاقة حرارية .

ان العلماء السوفييت والاجانب عاكفون على دراسة الاصوات فوق السمعية دراسة دقيقة شاملة . وتؤثر هذه الذبذبات تأثيرا بالغا على جسم الكائن الحى . فهى تؤدى الى تمزق خيوط الاعشاب المائية ، وتفجر خلايا الحيوانات ، وتخريب كريات الدم . ان تعرض الاسماك والضفادع الصغيرة ، الى الاصوات فوق السمعية ، لمدة تتراوح بين دقيقة واحدة ودقيقتين ، يكفى للقضاء عليها تماما ؛ كما ترتفع عند ذلك درجة حرارة جسم الحيوان الى ٤٥° مئوية ، كما يحدث للفئران مثلا . وتستخدم الذبذبات فوق السمعية الكتيمة ، فى الاغراض الطبية ، كما تستخدم الاشعة فوق البنفسجية ، وذلك لمساعدة الاطباء فى معالجة المرضى . وتستخدم الاصوات فوق السمعية ، بصورة خاصة فى صناعة الميتالورجيا ، وذلك لاكتشاف عدم التجانس والفجوات الغازية وغيرها من العيوب ، الموجودة فى داخل القطعة المنتجة . ان طريقة الفحص الاشعاعى للمعدن ، بواسطة الذبذبات فوق السمعية ، تتلخص فى ترطيب المعدن المراد فحصه ، بالزيت ، وتعريضه لتأثير الذبذبات فوق السمعية . ان الاقسام غير المتجانسة من القطعة المعدنية ، تشتت الصوت ، على هيئة ما يسمى بـ « ظل الصوت » ، الذى يظهر بصورة مجسمة واضحة ، على التموجات المنتظمة لطبقة الزيت المحيطة بالقطعة المعدنية ، بحيث يمكن تصويرها تماما * .

---

* ان طريقة كشف عيوب المعدن ، بواسطة الذبذبات فوق السمعية ، اقترحت لاول مرة عام ١٩٢٨ من قبل العالم السوفييتى سوكولوف . وفى الوقت الحاضر تستخدم اجهزة استقبال خاصة ، للذبذبات فوق السمعية ، تعوض عن استخدام الزيت ، وتعطى قياسات ابسط وادق بكثير – هيئة التحرير .

ونستطيع بواسطة الذبذبات فوق السمعية ان نفحص قطعة معدنية ، يبلغ سمكها ١ م واكثر ، وهو عمق لا يمكن لاشعة اكس ان تصله ؛ وبذلك نكتشف العيوب الدقيقة للغاية – الى حد الملمتر الواحد . ولا شك فى ان الذبذبات فوق السمعية ، ستستخدم فى المستقبل على نطاق واسع جدا *.

اصوات العمالقة والاقزام

فى الفلم السوفييتى القديم « جلبرت العصر الحديث » ، يتكلم الاقزام بأصوات عالية النغمة ، تطابق الحجم الصغير لحناجرهم ؛ اما العملاق – بيتيا – فقد كان يتكلم بصوت منخفض النغمة . وعند تصوير الفلم ، تكلم ممثلون عوضا عن الاقزام ، اما صوت العملاق – بيتيا – فقد عبر عنه صوت احد الممثلين الاطفال .

كيف امكن الحصول على التغيير اللازم فى انغام الاصوات ؟

لقد دهشت كثيرا ، عندما اخبرنى مخرج الفلم ، بان الممثلين قد تكلموا باصواتهم الطبيعية عند تصوير الفلم ؛ اما تغيير النغم فقد تم التوصل اليه اثناء عملية التصوير ، بطريقة مبتكرة ، مبنية على خواص الصوت الفيزيائية .

ولجعل اصوات الاقزام عالية ، وصوت العملاق منخفضا ، فقد عمد المخرج الى تسجيل اصوات الممثلين القائمين بادوار الاقزام ، مع ابطاء سرعة دوران شريط التسجيل ؛ اما عند تسجيل صوت الطفل الذى عبر عن صوت العملاق ، فقد زاد من سرعة دوران الشريط . وقد عرض الفلم فى دور السينما بسرعة طبيعية . وليس من الصعب ان نفهم ما الذى سيحدث نتيجة لذلك . سوف يستقبل المستمعون اصوات

---

* من الطريف ان نعلم بان الصوت فوق السمعى ، موجود فى الطبيعة ايضا . وتوجد فى صفير الرياح وفى اضطراب امواج البحر ، ترددات تناظر ترددات الاصوات فوق السمعية . ويتمتع الكثير من الكائنات الحية ، بخاصية اصدار واستقبال الاصوات فوق السمعية (كالفراشات وزيزان الحصاد وغيرها) . ويستخدم الخفاش الاصوات فوق السمعية اثناء طيرانه ، ويكتشف الحواجز التى تعترض طريقه ، بواسطة الاشارة الصوتية التى تعكسها تلك الحواجز .

الاقزام ، عندما تكون ذبذباتها عالية التردد ، بالنسبة لما هي عليه في الطبيعة ، مما يؤدى الى ارتفاع نغماتها حتما . اما صوت بيتيا ، فعلى العكس من ذلك ، سيستقبله المستمعون عندما تكون ذبذباته منخفضة التردد،الامر الذى يجعله منخفض النغمة.

واخيرا ، نرى بان الاقزام في الفلم المذكور ، يتكلمون بصوت ، يزيد على صوت الرجل البالغ ، بطبقة واحد فقط . اما العملاق – بيتيا – فيتكلم بصوت يقل عن صوت الرجل العادى ، بطبقة واحدة . وهكذا ، فقد استعملت آلة التسجيل البطيئة الحركة ، للقيام بهذا التغيير في الاصوات . وغالبا ما تلاحظ هذه الظاهرة ، عندما تدور اسطوانة الحاكى ، بسرعة اكثر او اقل من سرعة تسجيل الاسطوانة المذكورة .

الجريدة التى تصدر فى اليوم مرتين

سوف نناقش الان مسألة ، تبدو للوهلة الاولى ، وكأنها بعيدة عن موضوع الصوت ، وبعيدة عن علم الفيزياء ايضا . ومع ذلك ارجو من القارئ ان يعيرها اهتمامه ، لانها ستساعده على فهم البحث اللاحق بسهولة .

ربما يكون القارئ على علم بهذه المسألة ، في شكل من اشكالها المتغيرة العديدة .

في ظهر كل يوم يتوجه قطار من موسكو الى فلاديفوستوك ، كما يتوجه في ظهر كل يوم ، قطار آخر من فلاديفوستوك الى موسكو . ويستغرق قطع هذا الطريق ١٠ ايام . والآن ، تتطلب الاجابة على السؤال التالى : ما هو عدد القطارات التى يقابلها المسافر اثناء سفره من فلاديفستوك الى موسكو ؟

ان معظم الاجابات تؤكد بان عدد القطارات يساوى ١٠ فقط . غير ان هذه الاجابات غير صحيحة ، لان المسافر لا يقابل ١٠ قطارات فقط ، وهى القطارات التى تخرج من موسكو ، بعد مغادرته فلاديفستوك ، ولكنه سيقابل ايضا ، تلك القطارات التى كانت في الطريق ، عندما غادر فلاديفستوك . وهكذا نرى بان الاجابة الصحيحة ، هى ٢٠ قطارا ، لا ١٠ قطارات .

ولنبحث بعض التفاصيل الاخرى . ان كل قطار يخرج من موسكو ، يحمل معه اعداد جريدة جديدة . واذا كان المسافر يهتم باخبار موسكو ، فسوف يقوم بالطبع ، بشراء الجريدة من المحطات ، التى يتوقف عندها القطار . ما هو عدد الجرائد الجديدة ، التى سيشتريها المسافر خلال الايام العشرة ؟ ستكون الاجابة سهلة الان ، وهى ان المسافر سيشترى ٢٠ جريدة جديدة . وذلك لان كل قطار جديد يقابله المسافر ، سيحمل جريدة جديدة من موسكو ، ولما كان المسافر سيقابل ٢٠ قطارا ، فانه سيقرأ ٢٠ جريدة جديدة . وبما ان مدة السفر هى عشرة ايام ، ينتج من ذلك ان المسافر سيقرأ العدد الواحد ، مرتين فى اليوم . ان هذه النتيجة غير متوقعة نوعا ما ، وربما لا يصدقها القارئ فى الحال ، ما لم تحدث له فى الواقع ، اثناء سفره ، وتجعله يثق فى صحتها .

مسألة حول صفير القطار

اذا كان القارئ يتمتع بحاسية سمع موسيقية متطورة ، فربما لاحظ كيف تتغير درجة نغم (درجة النغم بالذات ، وليس جهارة الصوت) صفير القطار ، عندما يمر بقربه قطار آخر . وفى الوقت الذى كان فيه القطاران يقتربان من بعضهما ، كانت درجة النغم اعلى مما اصبحت عليه ، عندما اخذ القطاران بالابتعاد عن بعضهما . فاذا كان القطاران يسيران بسرعة ٥٠ كم/ساعة ، يصل الفرق بين درجتى النغم ، الى نغمة كاملة تقريبا . ما هو سبب حدوث ذلك ؟

سوف لا يصعب على القارئ التنبؤ بهذا السبب ، اذا تذكر بان درجة النغم تعتمد على عدد الذبذبات فى الثانية الواحدة ؛ وليقارن القارئ ذلك ، مع النتيجة التى توصلنا اليها فى المسألة السابقة .

ان صفير القطار المقابل ، يصدر نفس الصوت دائما ، بتردد معين . ولكن الاذن تستقبل عددا مختلفا من الذبذبات ، تبعا لموضع الشخص ، أهو يتحرك فى الاتجاه المضاد ، ام يقف فى مكانه ، ام يبتعد عن مصدر الذبذبات . وكما كانت

عليه الحالة عند التوجه الى موسكو ، وقراءة الجريدة اليومية ، اكثر من مرة فى اليوم الواحد ، فسوف تكون الحالة هنا شبيهة بتلك تماما ، حيث كلما اقتربنا من مصدر الصوت ، استقبلت اذننا الذبذبات بعدد اكبر من العدد الذى تخرج به من صفارة القطار . الا ان القارئ لا يناقش المسألة فى هذه الحالة . ان اذن المسافر تستقبل عددا مضاعفا من الذبذبات . وهكذا ، فانه يسمع نغمة عالية مباشرة . وعندما يبتعد المسافر عن مصدر الصوت ، تستقبل اذنه عددا اصغر من الذبذبات ، وبذلك يسمع نغمة منخفضة .

واذا لم يقتنع القارئ تماما بهذا التفسير ، فليحاول ان يتتبع مباشرة (نظريا طبعا) ، كيفية انتشار الموجات الصوتية ، المنبعثة من صفارة القطار . انظر اولا الى القطار الواقف ، المبين فى الشكل ١٥٤ . ان الصفارة تحدث موجات هوائية ، وسوف نبحث لاجل السهولة ، اربع موجات منها فقط (لاحظ الخط المتموج العلوى) . ان الموجات المنبعثة من القطار الواقف ، تنتشر خلال فترة معينة من الزمن ، مبتعدة عن القطار بمسافات متساوية فى جميع الاتجاهات . وتصل الموجة رقم صفر ، الى المراقب الموجود فى النقطة أ ، خلال نفس الفترة الزمنية التى تصل فيها الى المراقب الموجود فى النقطة ب ، ثم تصل الموجات رقم ١ و٢ و٣ . . الخ ، الى كلا المراقبين فى نفس الوقت . ان آذان كلا المراقبين ، تستقبل عددا متساويا من الدفعات فى الثانية الواحدة . ولذا ، فان كليهما يسمعان نفس النغمة الواحدة .

ويختلف الامر عندما يتحرك القطار اثناء صفيره ، من النقطة ب الى النقطة أ (الخط المتموج السفلى) . لنفرض ان الصفارة ، فى لحظة معينة ، كانت تقع فى النقطة حـ ، وخلال الفترة التى بعثت فيها اربع موجات ، انتقلت الى النقطة د . والان لنقارن منحنيات انتشار الموجات الصوتية ، مع بعضها . ان الموجة رقم صفر ، الخارجة من النقطة حـ ، تصل الى المراقبين أ′ و ب′ ، فى نفس الوقت . ولكن الموجة رقم ٤ ، المتكونة فى النقطة د ، لا تصل الى المراقبين فى نفس الوقت ، ذلك لان الطريق د أ′ ، اقصر من الطريق د ب′ . وهكذا ، فانها تصل الى المراقب أ′ ، قبل



شكل ١٥٤ : مسألة حول صفير القطار . الى الاعلى – موجات صوتية منبعثة من قاطرة بخارية واقفة ؛ الى الاسفل – موجات صوتية منبعثة من قاطرة متحركة .

وصولها الى المراقب ب' . وكذلك ، فان الموجتين المتوسطتين – رقم ١ ورقم ٢ – تصلان الى النقطة ب' ، بعد وصولهما الى النقطة أ' ، ولكن التأخير سيكون اقل . ما الذى يحدث اذن ؟ ان المراقب الموجود فى النقطة أ' ، سوف يستقبل الموجات الصوتية ، بمعدل اكبر ، من معدل استقبالها من قبل المراقب الموجود فى النقطة ب' ، وسوف يسمع المراقب الاول نغما اعلى من النغم الذى سيسمعه المراقب الثانى . وبالاضافة الى ذلك – كما يتضح بسهولة من الرسم التخطيطى الموجود فى الشكل – سيكون طول الموجات ، المتجهة نحو النقطة أ' ، اقصر من طول الموجات المتجهة نحو النقطة ب'* .

---

* يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، بان الخطوط الموجية المبينة فى الشكل السابق ، لا تمثل اشكال الموجات الصوتية . ان تذبذب الدقائق فى الهواء ، يحدث على امتداد اتجاه الصوت ، لا بصورة متقاطعة معه . وقد ظهرت الموجات فى الشكل المذكور بصورة عرضية ، وذلك لاجل الايضاح البصرى فقط . وحدبة مثل هذه الموجة ، تناظر اقصى انضغاط فى الموجة الصوتية الطولية .

ظاهرة دوبلر

ان الظاهرة التى شرحناها الآن ، اكتشفت من قبل العالم الفيزيائى دوبلر ، وبقيت مقرونة باسمه دائما . وليست هذه الظاهرة خاصة بالصوت فقط ، ولكنها تحدث بالنسبة للضوء كذلك ، لان الضوء ينتشر على شكل موجات ايضا . ان التردد المتعاظم يظهر بالنسبة للعين على هيئة تغير فى اللون . اما فى حالة الصوت ، فيكون بمثابة تغير فى درجة النغم .

ان قاعدة دوبلر تقدم للفلكيين امكانية رائعة ، ليس للتأكد من اقتراب احد الكواكب منا او ابتعاده عنا فقط ، ولكنها تسمح لهم حتى بقياس سرعة حركة ذلك الكوكب .

والشئ الذى يساعد الفلكيين فى هذه الحالة ، هو الازاحة الجانبية للخطوط السوداء ، التى تقطع شريط الطيف . ان الدراسة الدقيقة لاتجاه ازاحة الخطوط السوداء للكوكب ، ومقدار هذه الازاحة ، ساعدت الفلكيين على القيام بعدد من الاكتشافات الرائعة . فبفضل ظاهرة دوبلر ، نعرف الان بان نجم الشعرى اليمانية المتألق ، يبتعد عنا بمقدار ٧٥ كم فى كل ثانية واحدة . ويبعد هذا النجم عنا بمسافة هائلة لا يصدقها العقل ، بحيث ان ابتعاده حتى بمقدار عدة مليارات من الكيلومترات ، لا يؤثر بقدر ملحوظ على تألقه الظاهرى . وربما كنا سنجهل كل شىء عن حركة هذا النجم ، لو لم تساعدنا ظاهرة دوبلر ، على معرفة حقيقة هذه الحركة .

ويبين لنا هذا المثال ، بوضوح لا يقبل الشك ، بان علم الفيزياء هو فى حقيقة الامر علم شامل . وبعد ان وضع علماء الفيزياء قانون الموجات الصوتية ، التى يصل طولها الى عدة امتار ، بدأوا يطبقونه على الموجات الضوئية الصغيرة للغاية ، التى لا يزيد طولها على عدة اجزاء من عشرة آلاف جزء من الملمتر ، وذلك لقياس الحركة السريعة للشموس الهائلة الحجم ، التى تسبح فى الكون اللامتناهى .

عندما توصل العالم دوبلر لاول مرة (فى عام ١٨٤٢) الى الفكرة القائلة بان الاقتراب او الابتعاد المتبادل بين المراقب ومصدر الصوت او الضوء ، يجب ان يكون مصحوبا بتغيير طول الموجات الصوتية او الضوئية التى يتم استقبالها ، نادى برأى جرئ ، مفاده ان الفكرة المذكورة اعلاه ، هي التى تفسر لنا سبب تلون الكواكب . وقد فكر دوبلر بان الكواكب بالذات ، بيضاء اللون ، ويظهر الكثير منها بشكل ملون ، لانه يتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة لنا . ان الكواكب البيضاء ، المقتربة من الارض بسرعة ، ترسل الى المراقب الارضى ، اشعة ضوئية قصيرة ، تولد لديه احساسا باللون الاخضر او السماوى او البنفسجي . وعلى العكس من ذلك ، فان الكواكب البيضاء ، المبتعدة عن الارض بسرعة ، تبدو لنا وكأنها صفراء او حمراء .

وقد كانت هذه الفكرة طريفة ، ولكنها خاطئة بطبيعة الحال . ولكى تستطيع العين ملاحظة تغير لون الكواكب ، المتعلق بالحركة الذاتية ، لا بد من تحرك العين ، بسرعة تماثل السرعة الهائلة لتلك الكواكب — فى حدود عشرات الالاف من الاميال فى الثانية الواحدة . غير ان هذا بدوره لا يكفى ، وذلك لانه فى نفس الوقت ، ستتحول الاشعة الزرقاء للكوكب الابيض المقترب ، الى اشعة بنفسجية ، وتتحول الاشعة الخضراء الى اشعة زرقاء ، بينما تحل الاشعة البنفسجية محل الاشعة فوق البنفسجية ، وتحل الاشعة دون الحمراء محل الاشعة الحمراء . وباختصار ، تبقى الاجزاء المؤلفة للون الابيض ثابتة . وبغض النظر عن الزحف العام لجميع الوان الطيف ، فلا تستطيع العين بتاتا ، ملاحظة اى تغير يطرأ على اللون العام للكوكب .

ويختلف الامر بالنسبة لازاحة الخطوط السوداء فى طيف الكواكب ، المتحركة بالنسبة للمراقب . ان هذه الازاحة ، يمكن التقاطها جيدا ، بواسطة اجهزة دقيقة ، وهى تساعد على تعيين سرعة حركة الكواكب ، بموجب شعاع الابصار (ان الاسبكتروسكوب الجيد ، يحدد سرعة الكواكب ، حتى تلك التى تبلغ ١ كم/ثانية) .

وقد تذكر العالم الفيزيائى الشهير روبرت وود ، الخطأ الذى وقع فيه دوبلر ، وذلك عندما تقدم رجل البوليس من روبرت وود وطلب منه ان يدفع غرامة نقدية ، لانه لم يوقف سيارته المنطلقة بسرعة ، بالرغم من اشتعال الضوء الاحمر . ويقال بان وود اخذ عندئذ يقنع رجل البوليس المسئول عن حركة المرور ، بانه عندما يقترب السائق من الضوء الاحمر ، وهو منطلق بسرعة كبيرة ، فان اللون الاحمر يبدو وكأنه لون اخضر . ولو كان رجل البوليس ملما بعلم الفيزياء ، لعرف بانه لتبرير كلمات العالم المذكور ، كان لا بد وان تنطلق السيارة بسرعة خيالية ، قدرها ١٣٥ مليون كيلومتر فى الساعة .

ونقدم الى القراء الآن ، كيفية حساب ذلك . اذا رمزنا الى طول الموجات الضوئية ، المنبعثة من المصدر (وهو ضوء المرور فى هذه الحالة) ــ بالحرف ل ؛ والى طول الموجات التى يستقبلها المراقب (وهو العالم وود) ــ بالحرف ل ً ؛ والى سرعة السيارة ــ بالحرف س ؛ والى سرعة الضوء ــ بالحرف ص ، فسوف تكون العلاقة النظرية بين هذه المقادير ، كما يلى :

$$\frac{ل}{ل'} = ١ + \frac{س}{ص}$$

واذا علمنا بان اقصر الموجات التى تطابق الضوء الاحمر ، تساوى ٠,٠٠٦٣ مم ، وان اطول موجات الضوء الاخضر تساوى ٠,٠٠٥٦ مم ؛ نقوم بتعويض هذه القيم فى الصيغة المذكورة اعلاه (مع العلم بان سرعة الضوء تساوى ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية) ، فنحصل على ما يلى :

$$\frac{٠,٠٠٦٣}{٠,٠٠٥٦} = ١ + \frac{س}{٣٠٠٠٠٠}$$

وينتج من ذلك ان سرعة السيارة تساوى :

$$س = \frac{٣٠٠٠٠٠}{٨} = ٣٧٥٠٠ \text{ كم / ثانية ،}$$

او ١٣٥٠٠٠٠٠٠ كم/ساعة . وعند مثل هذه السرعة ، كان وود فى خلال ساعة واحدة ، سيبتعد عن رجل البوليس ، الى مسافة ابعد من الشمس . ويقال بان رجل البوليس قد حكم على وود بغرامة نقدية ، بالرغم من حجته العلمية ، وذلك بسبب « السير بسرعة تزيد على السرعة المسموح بها » .

بسرعة الصوت

ماذا كنا سنسمع لو ابتعدنا عن الاوركسترا ، بسرعة تساوى سرعة الصوت ؟

ان الشخص المسافر من لينينجراد فى قطار البريد ، يرى فى جميع المحطات نفس الاعداد من الصحف ، وهى بالذات نفس الاعداد الصادرة فى يوم مغادرته المدينة . وهذا واضح، لان اعداد الصحف تنقل مع المسافر فى نفس الوقت ، اما الصحف الجديدة فتنقل بواسطة القطارات القادمة وراء قطار البريد . وعلى هذا الاساس ، يمكن القول بانه اذا ابتعدنا عن الاوركسترا ، بسرعة تساوى سرعة الصوت ، فسوف نسمع نفس اللحن طول الوقت ، وهو اللحن الذى عزفته الاوركسترا ، فى اللحظة الاولى لانطلاقنا . ولكن هذا القول خاطئ ؛ لاننا اذا ابتعدنا بمثل سرعة الصوت ، فان الموجات الصوتية ستكون ساكنة بالنسبة الينا ، وسوف لا تصل الى طبلة الاذن ، الامر الذى يجعلنا لا نسمع اى صوت . وعندئذ سوف نظن بان الاوركسترا قد توقفت عن العزف . ولكن لماذا قادتنا المقارنة مع حالة الصحف ، الى نتيجة اخرى تماما ؟ ان سبب ذلك ، هو اننا اخطأنا فى اعتبار النقاش فى هذه الحالة ، مشابها للحالة الاولى (من حيث المنطق) . ان المسافر الذى يقابل نفس الاعداد من الصحف فى كل محطة من المحطات ، يتصور (اى كان بامكانه ان يتصور ، لو نسى بانه يركب القطار) بان صدور الاعداد الجديدة فى العاصمة ، قد توقف منذ مغادرته اياها . وتكون دور اصدار الصحف – بالنسبة له – قد توقفت عن العمل ، كما كانت الاصوات ستتوقف عن الوصول الى اذن المستمع المتحرك .

ومن الغريب ان نعلم انه من الممكن فى بعض الاحيان ، ان تربك هذه المسألة ، حتى عقول العلماء ، مع انها فى الحقيقة ليست معقدة الى هذه الدرجة . وعندما تجادلت

مع احد الفلكيين ــ وكنت آنذاك تلميذا ــ لم يكن موافقا على حل المسألة السابقة بهذه الطريقة ، وأكد بانه عندما نبتعد بمثل سرعة الصوت ، يجب ان نسمع طول الوقت ، نفس النغمة الواحدة . وقد حاول اثبات صحة رأيه ، بالمناقشة التالية (واقدم للقراء مقتطفا من رسالته) :

« لنفرض وجود لحن ، بدرجة معينة من النغم . ان هذا اللحن يعزف بنفس درجة النغم منذ زمن بعيد ، وسوف يبقى كذلك الى وقت غير معين . ان المراقبين الموجودين في الفراغ ، سيسمعون ذلك اللحن بصورة متتالية ، ولنفرض بنفس الدرجة الثابتة من القوة . والان ، ما هو السبب الذى يجعلنا لا نسمعه ، اذا كنا منطلقين بسرعة الصوت ، او حتى اذا كنا موجودين فى مكان اى مراقب من هؤلاء المراقبين ؟ »

وقد حاول ان يثبت بنفس الطريقة ، بان المراقب الذى يبتعد عن البرق ، بمثل سرعة الضوء سيرى ذلك البرق باستمرار .

وقد كتب الى يقول : « لنتصور وجود صف لا ينتهى من العيون ، فى الفضاء . ان كل عين من هذه العيون ستستلم الانطباعات الضوئية ، بعد العين التى تسبقها فى الصف . وتصور نظريا ، بانك تستطيع ان تحل بمحل كل عين من هذه العيون على التوالى ــ وهنا يتضح بانك سوف ترى البرق باستمرار » .

وبطبيعة الحال ، فان كلا التأكيدين غير صحيحين ، ذلك لانه فى الظروف المشار اليها اعلاه ، لن نسمع صوت الاوركسترا ولن نرى البرق . وهذا واضح من الصيغة الموجودة على الصفحة ٣٢٦ فاذا وضعنا فيها س=ــص ، فسوف نرى بان طول الموجة التى تستقبلها الاذن ل ، سيكون لانهائيا ، اى لا توجد هناك اية موجات .

* * *

وبهذا ينتهى كتاب « الفيزياء المسلية » . فاذا كان الكتاب قد حفز رغبة القراء فى التعرف على المزيد من حقول هذا العلم اللامتناهية ، التى انتقيت منها هذه المجموعة المرقشة من الحقائق البسيطة ، فانى ساعتبر نفسى قائما بواجبى ومحققا هدفى المنشود ، وسأضع النقطة الاخيرة بعد الكلمة « النهائية » .

المحتويات

إلى القراء الاعزاء

يسر دار «مير» للطباعة والنشر أن تكتبوا إليها عن رأيكم في هذا الكتاب، حول مضمونه وترجمته، أسلوبه وشكل عرضه وتكون شاكرة لكم لو أبديتم لها ملاحظاتكم وانطباعاتكم. ويسر الدار كذلك أن تعلموها بما ترغبون الاطلاع عليه من الكتب العلمية والتكنكية السوفيتية التي تصدرها والمختارة من أفضل المراجع الجامعية والكتب العلمية المبسطة.

وبامكانكم الحصول على اسمائها من الكاتالوجات التى تنشرها الدار باللغات العربية والانجليزية والفرنسية والاسبانية.

يرجى إرسال الطلبات إلى الوكلاء المعتمدين لدى مؤسسة «ميجدونارودنايا كنيغا» السوفيتية، موسكو ١١٣٠٩٥

عنوان دار «مير»:
الاتحاد السوفيتي—موسكو ١١٠
بيرفي ريجسكى بيريولوك رقم ٢


Bibliotheca Alexandrina
0286648